CURIERUL de Fizică nr 73

Publicația Fundației Horia Hulubei şi a Societății Române de Fizică • Anul XXIII • Nr. 2 (73) • Decembrie 2012

Curierul de Fizică își propune să se adreseze întregii comunități științifice/universitare din țară și diaspora !

Dipolii de vârtejuri în condensatul atomic Bose-Einstein: de la previziunea teoretică la confirmările experimentale recente

După cum este binecunoscut, condensatul Bose-Einstein este considerat ca fiind o nouă stare de agregare a materiei formată din atomi în stare gazoasă (de regulă, atomi ai unor metale alcaline), la temperaturi extrem de mici în apropiere de zero absolut. Temperaturile critice la care are loc condensarea Bose-Einstein sunt de ordinul microKelvinilor sau sutelor de nanoKelvini. Atomii alcalini (^{7}Li, ^{23}Na, ^{39}K, ^{87}Rb etc.) în starea gazoasă cu densități extrem de mici constituie un gaz diluat de bosoni (particule cu spin întreg). Bosonii au o proprietate fizică remarcabilă: la temperaturi extrem de joase, o mare fracțiune din numărul lor total poate ocupa starea de energie minimă (starea fundamentală). În acest mod, se pot evidenția în natură fenomene cuantice la scară macroscopică.

Noua stare de agregare a materiei a fost previzionată de Satyendra Nath Bose în anul 1924 [S. N. Bose, "Plancks Gesetz und Lichtquantenhypothese", *Zeitschrift für Physik* **26**, 178 (1924)] şi de către Albert Einstein în anul 1925 [A. Einstein, "Quantentheorie des einatomigen idealen Gases", *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften* **1**, 3 (1925)]. După cum se observă din titlurile celor două lucrări fundamentale, articolul lui Bose este concentrat pe statistica cuantică a fotonilor (a cuantelor de lumină) având masa de repaus nulă, în timp ce Einstein a extins teoria lui Bose la particulele cu masă de repaus nenulă. În acest fel s-a introdus ceea ce în limbaj modern se numeşte statistica Bose-Einstein pentru particulele identice cu spin întreg (numite bosoni). Amintesc şi faptul că particulele identice cu spin semi-întreg (numite fermioni) ascultă de statistica Fermi-Dirac.

Condensatele atomice de tip Bose-Einstein au fost obținute pentru prima oară în anul 1995 de către două grupuri de cercetare distincte din SUA. Unul dintre grupuri a fost condus de Eric Cornell şi Carl Wieman de la JILA, National Institute of Standards and Technology (NIST) şi University of Colorado, Department of Physics. Al doilea grup de cercetare aflat în concurență științifică cu grupul de la NIST a fost condus de către Wolfgang Ketterle de la Massachusetts Institute of Technology (MIT). Pentru aceste descoperiri independente ale unui fenomen cuantic la scară macroscopică, Cornell, Wieman şi Ketterle au obținut Premiul Nobel pentru Fizică în anul 2001, la numai şase ani după publicarea evidenței experimentale a acestui efect.

Aş dori să reamintesc că anterior anului 2001 a mai fost decernat Premiul Nobel pentru Fizică pentru previziunea unui alt efect cuantic la scară macroscopică, fenomen care a fost ulterior observat în condiții experimentale de laborator, şi anume *efectul Josephson*. Pe scurt, Brian David Josephson în anul 1962 [B. D. Josephson, "Possible new effects in superconductive tunneling", *Phys. Lett.* **1**, 251 (1962)] a previzionat efectul care-i poartă numele, care constă în apariția unui supercurent (un curent care persistă un timp îndelungat fără ca să existe o tensiune electrică aplicată din exterior) de-a lun-

continuare în pag. 2 ➲

Din CUPRINS

4	Corina Simion	Restaurarea fostului Conac Oteteleşanu din Măgurele
6	Gheorghe Văsaru	Aplicațiile metodelor de datare în domeniul artei şi arheologiei
17	Mircea Morariu	Physics Web

Nota Redacției O scriere semnată, menționată aici sau inserată în paginile publicației, poartă responsabilitatea autorului. Celelalte note – nesemnate – ca și editorialul, sunt scrise de către redacție și reprezintă punctul de vedere al acesteia.

EDITURA HORIA HULUBEI

gul unei joncțiuni care constă din doi superconductori separați printr-un element de legătură izolator/dielectric (joncțiune Josephson de tip superconductor-izolator-superconductor). Joncțiunile Josephson sunt acum în mod curent folosite în dispozitivele de tip SQUID ("superconducting quantum interference device"), folosite în magnetometre extrem de sensibile ce pot măsura câmpuri magnetice extrem de joase de ordinul a 5×10^{-18} Tesla. Efectul Josephson a fost observat experimental în anul 1963 [P. W. Anderson, J. M. Rowell, "Probable observation of the Josephson tunnel effect", *Phys. Rev. Lett*. **10**, 230 (1963)], iar în anul 1973 Brian D. Josephson împreună cu Leo Esaki şi Ivar Giaever au obținut Premiul Nobel pentru Fizică.

Este de remarcat faptul că această nouă stare a materiei, alcătuită din atomi alcalini răciți la temperaturi ultrajoase (de ordinul zecimii de miliKelvin) care ocupă macroscopic starea fundamentală cu energie minimă, este extrem de fragilă, în sensul că orice interacție a condensatului Bose-Einstein cu mediul înconjurător poate conduce la încălzirea lui peste temperatura critică (pragul de temperatură sub care are loc fenomenul de "condensare" cuantică) ceea ce în final va avea ca efect eliminarea proprietăților unice de natură cuantică şi transformarea gazului respectiv într-un gaz obişnuit. Fotonii şi atomii de Heliu-4 sunt de asemenea bosoni; în consecință, conform teoriilor dezvoltate de Bose şi Einstein în anii `20 ai secolului trecut, pot să "condenseze" pe starea fundamentală la temperaturi extrem de joase, formând stări noi ale materiei. Recent, a fost demonstrată experimental condensarea de tip Bose-Einstein a fotonilor în microcavități optice [Jan Klaers, Julian Schmitt, Frank Vewinger, Martin Weitz, "Bose–Einstein condensation of photons in an optical microcavity", *Nature* (London) **468**, 545–548 (2010)]. Remarc faptul că în geometria experimentală utilizată în lucrarea lui Klaers *et al*., oglinzile cavității optice furnizează potențialul extern care confinează fotonii. Astfel, se obține o masă de repaus efectivă a fotonilor din cavitate diferită de zero, iar sistemul fizic corespunzător este echivalent cu un gaz bidimensional de bosoni captați în respectiva cavitate optică.

În cele ce urmează voi explica pe scurt care este motivul fizic care conduce la faptul că gazele metalelor alcaline ^{7}Li (Z=3), ^{23}Na (Z=11), ^{39}K (Z=19) etc. au o comportare bosonică şi nu una fermionică aşa cum ne-am fi aşteptat. Deşi nucleele lor atomice au spinul total semiîntreg, caracterul bosonic apare datorită unei interacții slabe hiperfine care cuplează spinul total semiîntreg al nucleului cu spinul total semiîntreg al păturii electronice. Acest cuplaj hiperfin apare doar la temperaturi ultrajoase. În primul experiment al grupului lui Eric Cornell şi Carl Wieman de la National Institute of Standards and Technology (NIST) publicat în numărul din 14 Iulie 1995 al revistei *Science* [M. H. Anderson, J. R. Ensher, M. R. Matthews, C. E. Wieman, E. A. Cornell, "Observation of Bose-Einstein condensation in a dilute atomic vapor", *Science* **269**, 198-201 (1995)] s-a reuşit obținerea unui condensat Bose-Einstein folosind atomi de Rubidiu 87 (Z=37) răciți la o temperatură de 170 nanoKelvin şi având o densitate mică de doar 2.5×10^{12} atomi/cm^3. Acest condensat a putut fi menținut stabil un timp destul de mare, şi anume aproximativ 15 secunde. Numărul de atomi în acest prim condensat atomic Bose-Einstein a fost relativ mic, de doar câteva mii de atomi. Ulterior, grupul de la MIT a publicat în numărul din 27 Noiembrie 1995 al revistei *Physical Review Letters* a Societății Americane de Fizică, o confirmare a rezultatelor grupului de la NIST folosind de această dată atomi de sodiu în stare gazoasă [K. B. Davis, M. -O. Mewes, M. R. Andrews, N. J. van Druten, D. S. Durfee, D. M. Kurn, W. Ketterle, "Bose-Einstein condensation in a gas of Sodium atoms", *Phys. Rev. Lett*. **75**, 3969–3973 (1995)]. Atomii de sodiu au fost captați în capcane care utilizează atât forțe de natură magnetică (câmpuri magnetice), cât şi forțe de natură optică (fascicule laser). În plus, în acest experiment crucial s-a folosit şi procedeul de răcire prin evaporare. Pentru răcirea unui gaz de bosoni se folosesc în mod curent atât răcirea cu laser, cât şi răcirea prin evaporare. În prima etapă de răcire a gazului de bosoni se foloseşte răcirea cu laser (este etapa de prerăcire a gazului); fotonii din fascicolele laser preiau energia atomilor de gaz prin ciocniri individuale atom-foton. În etapa a doua, se foloseşte răcirea prin evaporare, gazul este confinat în capcane magnetice, similare cu cele folosite la confinarea plasmei. Menționez că răcirea prin evaporare se bazează pe scăderea lentă a tăriei capcanei magnetice care permite atomilor fierbinți să iasă din capcana magnetică, în timp ce atomii rămaşi în capcana magnetică ating echilibrul termic la o temperatură mai joasă. Au fost captați în condensatul Bose-Einstein un număr maxim de 500.000 de atomi de sodiu, gazul având densitatea de aproximativ 10^{14} atomi/cm^3, temperatura critică la care are loc "condensarea" atomilor de sodiu a fost estimată ca fiind în jur de 2 micro-Kelvin.

Pentru studiul teoretic al condensatelor atomice Bose-Einstein s-au propus diferite ecuații neliniare de mişcare, frecvent utilizată fiind ecuația cu derivate parțiale neliniară de tip Gross-Pitaevskii care descrie dinamica unui condensat atomic în aproximația câmpului mediu. Starea condensatului Bose-Einstein este descrisă de funcția de undă a condensatului care este o soluție a ecuației cu derivate parțiale neliniară de tip Gross-Pitaevskii. Această ecuație simplificată a fost obținută în mod independent de Gross şi Pitaevskii în anul 1961 [E. P. Gross, "Structure of a quantized vortex in boson systems", *Il Nuovo Cimento* **20**, 454–457 (1961); L. P. Pitaevskii, "Vortex lines in an imperfect Bose gas", *Soviet Physics JETP* **13**, 451–454 (1961)] în ipoteza simplificatoare în care s-a presupus că interacțiile dintre atomii

condensatului sunt de tipul interacțiilor de contact între două corpuri.

O direcție de cercetare de mare interes în acest domeniu științific de vârf este studiul teoretic și experimental al solitonilor (undelor localizate de materie) și vârtejurilor care se pot forma într-un condensat atomic atât de tip atractiv, cât și de tip repulsiv. În anii recenți s-a atins un nivel adecvat de înțelegere a condițiilor necesare de existență, stabilitate și generare a acestor complexe atomice formate dintr-un număr relativ mare de atomi și s-a dezvoltat în ritm rapid pe plan mondial un domeniu nou de cercetare numit "*atom optics*" care se ocupă de generarea, controlul și utilizarea în diverse aplicații practice a acestor unde "gigantice" de materie. Este binecunoscut faptul că, atât vârtejurile izolate, cât și structurile complexe formate din mai multe vârtejuri dispuse într-o rețea periodică constituie obiecte dinamice fundamentale în condensatul atomic Bose-Einstein. De regulă, vârtejurile sunt studiate atât teoretic cât și experimental în condensatele atomice de tip repulsiv având o lungime de împrăștiere pozitivă ce caracterizează ciocnirile dintre atomi. Vârtejurile pot fi create prin "agitarea" condensatului cu ajutorul fasciculelor laser sau prin crearea unei dislocații de fază, în funcția de undă ce descrie condensatul captat într-o capcană magnetică.

Studiile teoretice efectuate în anii 2002 și 2003 de către Dr. Dumitru Mihalache și colaboratorii din România și Spania care au fost publicate în reviste de mare circulație internațională (*Physical Review E* și *Physical Review A*) au arătat că un condensat de tip repulsiv care nu este rotit din exterior poate găzdui structuri complexe localizate de tip vârtej cu sarcini topologice diferite, ca de exemplu, *dipolul de vârtejuri*, *cuadripolul de vârtejuri*, etc.; a se vedea lucrările care previzionează existența acestor "molecule" de vârtejuri ("clusteri" de vârtejuri): L.-C. Crasovan, G. Molina-Terriza, J. P. Torres, L. Torner, V. M. Perez-Garcia, D. Mihalache, "Globally linked vortex clusters in trapped wave fields", *Phys. Rev. E* **66**, 036612 (2002); L.-C. Crasovan, V. Vekslerchik, V. M. Perez-Garcia, J. P. Torres, D. Mihalache, L. Torner, "Stable vortex dipoles in nonrotating Bose-Einstein condensates", *Phys. Rev. A* **68**, 063609 (2003). Menționez că aceste structuri localizate de vârtejuri sunt complet diferite față de acelea care constituie rețeaua de vârtejuri de tip Abrikosov previzionată în anul 1957 în supraconductori de speța a doua în care toate vârtejurile (care sunt de regulă aranjate într-o rețea hexagonală) au același număr topologic; a se vedea lucrarea: A. A. Abrikosov, "On the magnetic properties of superconductors of the second group", *Soviet Physics JETP* **5**, 1174 (1957). Alexei A. Abrikosov a obținut Premiul Nobel în anul 2003 pentru această lucrare teoretică vizionară.

Previziunile teoretice publicate în anul 2003 privind cele mai simple "molecule" de vârtejuri care se pot imagina, și anume *dipolurile de vârtejuri*, au fost pentru prima dată confirmate experimental, după o perioadă de timp relativ lungă, în două articole publicate în anul 2010 în revistele *Physical Review Letters* [T. W. Neely, E. C. Samson, A. S. Bradley, M. J. Davis, B. P. Anderson, "Observation of vortex dipoles in an oblate Bose-Einstein condensate", *Phys. Rev. Lett.* **104**, 160401 (2010)] și *Science* [D. V. Freilich, D. M. Bianchi, A. M. Kaufman, T. K. Langin, D. S. Hall, "Real-time dynamics of single vortex lines and vortex dipoles in a Bose-Einstein condensate", *Science* **329**, 1182-1185 (2010)], de către cercetători din SUA, Australia și Noua Zeelandă. Ulterior, în anii 2010-2011, alte grupuri experimentale din Germania, SUA, Grecia, Spania, în lucrări publicate în *Physical Review A*, au reconfirmat rezultatele primelor experimente publicate în anul 2010 privind dipolii de vârtejuri și au pus în evidență clusterii de vârtejuri de tip tripol (vârtej-antivârtej-vârtej), citând proeminent cele două lucrări teore-tice publicate în anii 2002 și 2003.

În lucrarea experimentală publicată în revista *Science* (2010), menționată anterior, se afirmă, citez: "A particularly compelling demonstration of the second, symmetric dipole configuration is shown in Fig. 4. This unusual, time-independent topological structure is a stationary vortex dipole [31–33], the simplest example of a stable vortex cluster in an inhomogeneous superfluid: [31] L.-C. Crasovan et al., Phys. Rev. A **68**, 063609 (2003); [32] M. Möttönen, S. M. M. Virtanen, T. Isoshima, M. M. Salomaa, Phys. Rev. A **71**, 033626 (2005); [33] W. Li, M. Haque, S. Komineas, Phys. Rev. A 77, 053610 (2008)".

De asemenea, în lucrarea experimentală publicată în revista *Phys. Rev. Lett.* în anul 2010, menționată anterior, se afirmă, citez: "In an axisymmetric trap such as ours, a vortex dipole coincides with a meta-stable state of superfluid flow with potentially long lifetimes [27–29]: [27] L. C. Crasovan et al., Phys. Rev. A **68**, 063609 (2003); [28] M. Mottonen et al., Phys. Rev. A **71**, 033626 (2005); [29] W. Li, M. Haque, and S. Komineas, Phys. Rev. A **77**, 053610 (2008)".

Într-o altă lucrare experimentală publicată în anul 2010 în revista *Physical Review A* [J. A. Seman *et al.*, "Three-vortex configurations in trapped Bose-Einstein condensates", *Phys. Rev. A* **82**, 033616 (2010)] se afirmă, citez: "On the other hand in BECs without external rotation, one can have vortices of both circulation signs coexisting. In a trap, such combinations display fundamentally new effects, such as stationary structures found in theoretical studies [5-7]: [5] L.C. Crasovan et al, Phys. Rev. E **66**, 036612 (2002); L. C. Crasovan et al., Phys. Rev. A **68**, 063609 (2003); M. Liu et al., Phys. Rev. A **73**, 063620 (2006); A. Klein et al., Phys. Rev. A **76**, 043602 (2007); W. Li et al., Phys. Rev. A **77**, 053610 (2008)". În acest experiment s-a creat un condensat de tip Bose-Einstein folosind atomi de Rubidiu 87; într-o

continuare în pag. 4 ➲

Restaurarea fostului Conac Oteteleşanu din Măgurele – file din agenda INCDFM / FCFM*

Lucrările de execuție ale proiectului de restaurare a "Fostului Conac Oteteleşanu, azi IFA, Blocul M", clădire înscrisă pe Lista Monumentelor Istorice a județului Ilfov – 2010 sub codul IF-II-a-B-15294.01, au demarat la data de 1 Martie 2012 sub egida firmei SC MediaPro Studios Buftea. Clădirea, aflată actual în administrarea INCDFM, a fost evacuată în 1997/1998. Părăsită fiind, a rezistat în mod miraculos încă 15 ani, deşi Expertiza Tehnică INCERC încheiată în 1998 prognoza cel mult încă doi ani înainte de intrarea în colaps dacă nu se intervenea rapid pentru consolidare/reabilitare. "Castelul Oteteleşanu", "Fostul Conac Oteteleşanu", Pavilionul "Oncescu", Blocul "M", acestea fiind doar unele dintre denumirile mai des folosite pentru acest monument istoric, a revenit în ultimele 10 luni la un ritm trepidant de viață. Transformările sunt vizibile pentru oricine trece prin curtea IFIN-HH* Grup II de pe Platforma de Fizică de la Măgurele. Imobilul, în formele sale constructive inițiale, a fost reşedință de moşie a unor vechi familii boiereşti din Țara Românească, urmele sale regăsindu-se în fundații și o parte din elevațiile cuprinse în nucleul vechi al clădirii ante 1840 (posibil a doua jumătate secol XVIII – început secol XIX). Au urmat, până către jumătatea secolului XIX, încă două perioade majore de transformare, care se regăsesc de asemeni la nivel de fundații şi elevații, continuate cu cel puțin cinci intervenții asupra întregii clădiri existente, care au dus la modificări mai mari sau mai mici în ceea ce priveşte structura şi arhitectura ei timp de alți 160 de ani. Lipsa unei întregi serii de informații utile în procesul de reabilitare, restaurare, modernizare şi punere în valoare, mai ales a planurilor din perioadele anterioare înființării Institutului de Fizică al Academiei RPR în 1949, precum şi din perioada 1949 – 1969, a dus la sporirea gradului de complexitate şi dificultate a proiectului de restaurare. Ca urmare a consultării în 2011 a Comisiei Zonale a Monumentelor Istorice Nr. 12 Bucureşti – Ilfov, soluția de proiectare a dus la o revenire a fațadei principale nordice a construcției către perioada "Institutului Ion Otteteleşeanu" înființat de Academia Română la 1894 în locul "Castelului Oteteleşanu", iar

➲ *continuare din pag. 3*

capcană magnetică alungită de forma unui "creion" s-a reuşit să se capteze un număr de aproximativ 100.000 de atomi de Rubidiu. Frecvențele de oscilație transversale, respectiv radiale ale acestei capcane magnetice au avut valorile 2π x 23 Hz, respectiv 2π x 207 Hz.

Recent, într-o altă lucrare experimentală publicată în anul 2011 în *Physical Review A* [S. Middelkamp *et al*., "Guiding-center dynamics of vortex dipoles in Bose-Einstein condensates", Phys. Rev. A **84**, 011605(R) (2011)] se afirmă, citez: "Vortex dipoles in weakly interacting superfluid systems were first considered as one of several stationary configurations of vortex clusters occurring in harmonically confined, quasi-2D geometries [12,13]: [12] L.-C. Crasovan, G. Molina-Terriza, J. P. Torres, L. Torner, V. M. Perez-Garcia, D. Mihalache, Phys. Rev. E **66**, 036612 (2002); [13] L.-C. Crasovan, V. Vekslerchik, V. M. Perez-Garcia, J. P. Torres, D. Mihalache, L. Torner, Phys. Rev. A **68**, 063609 (2003)". În acest experiment s-a creat un condensat de tip Bose-Einstein folosind tot atomi de Rubidiu-87; într-o capcană magnetică asimetrică s-a reuşit să se capteze un număr de aproximativ 600 000 de atomi de Rubidiu 87 în starea cu numerele cuantice hiperfine F = 1 și m_F = -1. Frecvențele de oscilație transversale, respectiv radiale ale capcanei magnetice în această configurație experimentală au avut valorile 2π x 101 Hz, respectiv 2π x 36 Hz. În cele patru lucrări experimentale recente menționate mai sus au fost puși în evidență dipolii de vârtejuri în condensatul atomic Bose-Einstein, care constituie structuri localizate robuste. Pe scurt, dipolul de vârtejuri este un obiect cuantic care reprezintă cea mai simplă "moleculă" de vârtejuri, conținând două vârtejuri cu sarcini topologice de semn opus. Tripolul de vârtejuri care, de asemenea, a fost pus în evidență experimental în lucrarea lui Seman et al. (2010) reprezintă un cluster de vârtejuri care se pot aranja spațial fie formând un şir de vârtejuri de tipul vârtej-antivârtej-vârtej (o linie de vârtejuri), fie formând un triunghi care este aproape identic cu un triunghi echilateral. În această din urmă situație cele trei vârtejuri au acelaşi număr cuantic, adică au aceeaşi vorticitate.

În încheiere, doresc să remarc faptul că nu mi-am propus aici să ofer o prezentare exhaustivă a acestui domeniu fertil de cercetare fundamentală care, după 12 ani de la primele descoperiri experimentale în domeniul condensatelor atomice Bose-Einstein, continuă să fie în atenția cercetătorilor din lumea întreagă. Am încercat, totuși, să prezint pe scurt câteva dintre realizările științifice recente din acest domeniu dinamic de cercetare, în special previziunile teoretice și confirmările experimentale ulterioare privind formarea celor mai simple "molecule" de vârtejuri, care constituie configurații fizice staționare extrem de stabile în condensatele atomice Bose-Einstein.

Dumitru Mihalache
e-mail: Dumitru.Mihalache@nipne.ro
http://www.theory.nipne.ro/NLO

a fațadei principale sudice (latura către actualul Parc IFIN-HH) către perioada în care familia Ioan și Elena Oteteleșanu transformaseră Ansamblul de la Măgurele (cca. 1865) în "Centru spa și de loisirs", asemănătoare multor locuri din Europa, datorită izvoarelor termale, apropierii de București și farmecului aparte al Parcului realizat de către arhitectul peisagist Karl Wilhelm Friederich Meyer în curtea principală a Ansamblului (azi mare parte fiind reprezentată de IFIN-HH Grup II). Anul 2012 este dedicat în principal lucrărilor de structură, cu intervenții majore la interiorul, exteriorul și la subsolul clădirii, urmând ca, începând cu 2013, echipa de execuție împreună cu echipa de proiectare să se axeze pe partea

de arhitectură și decorații. Prezența celor peste 60 de ani de existență a fizicii la Măgurele va fi pusă în valoare atât prin Tema de Funcțiuni (activitățile care se vor desfășura aici după inaugurare), cât și printr-o serie de colecții, cu valoare muzeală care vor fi expuse la interior, laolaltă cu artefactele descoperite în perioada cercetării arheologice, aflată în plină desfășurare la data apariției numărului 73 al Curierului de Fizică. Până în prezent, etapele cele mai solicitante din restaurare au fost spargerea terasei circulabile de peste ultimul nivel pentru refacerea lui, săpăturile la fundații și cele pentru crearea subsolului sub întreaga construcție, precum și formarea siluetei noului "turn estic" – cel vechi fiind complet dispărut (prin intrarea în colaps în 2009, prăbușire în 2010, demolare controlată a resturilor sale în 2011-2012). Pe lângă formarea noului subsol cu anexele sale (printre care și două "curți englezești" pe laturile secundare, estică și vestică), la ora actuală atenția se concentrează pe finalizarea ultimului nivel, cu închiderea șarpantei și prinderea zonelor consolidate în centuri, astfel încât debutul iernii 2012-2013 să surprindă Castelul Oteteleșanu într-o etapă de execuție cât mai favorabilă trecerii prin anotimpul rece. Ritmul activităților, necesitatea intervențiilor repetate pentru modificarea "din mers" a soluțiilor de proiectare inițiale, impuse de situațiile găsite concret pe șantier, precum și suprapunerea în timp și spațiu a lucrărilor de execuție specifice unui șantier de restaurare a unui monument istoric, cu lucrările de cercetare arheologică ale zonei care reprezintă amprenta la sol a clădirii, au purtat beneficiarul: INCDFM aflat în coordonarea Autorității Naționale pentru Cercetare Științifică, precum și echipele de proiectare (conduse de către dna. prof. univ. dr. arh. Cristina Olga Gociman sub îndrumarea dnei. conf. univ. dr. arh. Ruxandra Nemțeanu, expert al Ministerului Culturii și Patrimoniului Național) și de execuție (SC MediaPro Studios Buftea, cu un colectiv aflat sub conducerea arh. Vlad Panaitescu, șeful șantierului de restaurare fiind ing. Silviu Nițescu) către un traseu extrem de sinuos și dificil. Începând cu toamna anului 2012 lor li s-au alăturat Universitatea din București, Facultatea de Istorie, prin prof. univ. dr. Antal Lukacs, șeful șantierului arheologic. Acest "tur de forță" ce va readuce la viață acest obiectiv al patrimoniului național aflat în prezent în administrarea INCDFM încă nu s-a încheiat; închiderea șarpantei și aducerea clădirii "la roșu" vor marca următoarele momente de cotitură ale procesului de restaurare – o dată cu finalizarea lor, INCDFM și FCFM vor organiza la sediul din Măgurele o nouă prezentare publică a stadiului lucrărilor, foarte probabil la începutul anului 2013.

A consemnat **dr. ing. Corina Simion (IFIN-HH)**
redactor al Curierului de Fizică și membru simpatizant al Fundației Cultura și Fizica la Măgurele – octombrie 2012

** INCDFM = Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Materialelor din Măgurele – Ilfov / FCFM = Fundația "Cultura și Fizica la Măgurele" / IFIN-HH = Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară "Horia Hulubei" din Măgurele – Ilfov*

Aplicațiile metodelor de datare în domeniul artei şi arheologiei

1. INTRODUCERE

În domeniul artei şi arheologiei, unde impactul tehnicilor bazate pe fenomene nucleare este relevant, există, în principiu, două categorii mari de probleme:

a) probleme legate de datare;
b) probleme legate de cunoaşterea materialelor utilizate pentru producerea artefactelor.

Datarea diferitelor artefacte reprezintă evident scopul oricărei cercetări arheologice. Aşa cum vom arăta în continuare, această operațiune poate fi efectuată direct, într-un mare număr de cazuri, cu ajutorul diferitelor tehnici nucleare, care acum sunt deja în întregime integrate în cadrul comunității de arheologi.

În privința analizei materialelor, în cadrul studiilor ştiintifice ale artefactelor arheologice sau ale obiectelor de artă (arheometrie), rolul acesteia este multiplu: ea ajută la determinarea, din compoziția unui anumit obiect, a datei şi localității producerii lor, a naturii proceselor prin care s-au format, a surselor de materii prime folosite şi a scopurilor pentru care au fost utilizate. În unele cazuri, ea poate fi utilizată şi ca suport de confirmare sau negare a autenticității artefactului respectiv. O importanță suplimentară a măsurătorilor elementelor componente ale unui obiect de artă derivă şi din necesitățile de restaurare ale acestuia: cunoaşterea materialelor originale este esențială pentru orice procedeu de restaurare ce trebuie aplicat corect şi reversibil.

În articolul de față vom trece în revistă metodele de datare în domeniul artei şi arheologiei, oferind şi câteva exemple de aplicații din Europa şi din alte regiuni ale lumii [1], [2].

2. IMPACTUL ŞI APLICAȚIILE FIZICII NUCLEARE ÎN OPERAȚIUNILE DE DATARE ARHEOLOGICĂ

În multiple cazuri, metodele de datare utilizate în arheologie pot fi privite ca o subgrupă a metodelor utilizate pentru datările geocronologice, deşi se aplică numai la o scală de timp de cel mult 4 Ma, şi pentru majoritatea siturilor arheologice, la Holocen (ultimii 10.000 ani). O a doua diferență majoră constă în faptul că o "dată" arheologică prezintă relevanță pentru o anumită activitate umană; de exemplu, timpul scurs de la data prelucrării unui anumit obiect din cremene poate fi mai important decât vârsta cremenii însăşi. Această relevanță asupra activității umane a avut ca efect faptul că multe din materialele corespunzătoare datării arheologice să fie rare şi adesea cu o constituție complexă (de exemplu: osemintele).

Metodele de datare arheologică pot fi divizate în două tipuri:

a) metode dependente de un "ceasornic", inerent în radioactivitatea nuclizilor naturali instabili, şi
b) metode dependente de corelarea cu un ritm cunoscut cum sunt inelele de copac anuale sau inversiunea geomagnetică.

„Ceasornicele" radioactive pot fi utilizate în două moduri diferite: fie prin măsurarea pierderii sau câştigului unui anumit radionuclid sau al produsului acestuia, în decursul perioadei ce urmează a se data, fie prin măsurarea efectelor cumulative ale radioactivității (de exemplu, defectele de iradiere) înregistrate în eşantion, în perioada respectivă. Ambele abordări sunt legate de o invarianță a vitezei de dezintegrare radioactivă în raport cu schimbările din mediu, deoarece acestea nu pot fi cunoscute, pentru trecut, în nici un detaliu.

2.1. Principiile metodei de dezintegrare radioactivă în datările arheologice

A) Măsurarea abundențelor nuclizilor

Dintre nuclizii instabili ce apar în siturile arheologice, numai o mică subgrupă prezintă durate de înjumătățire relevante pentru arheologi. Astfel de durate de înjumătățire prezintă majoritatea nuclizilor ce nu s-au dezintegrat complet de la formarea Pământului, aceştia fiind mult prea insensibili. Alții sunt formați prin diferite procese cosmogonice, implicând o distribuție extrem de neomogenă a acestora în timp şi spațiu. Prin urmare, numărul de nuclizi utili disponibili este destul de limitat. În esență, cu ajutorul unui anumit nuclid, a cărui abundență inițială la momentul din trecut ce se doreşte a se data este cunoscută, pentru stabilirea intervalului de timp scurs de la acel moment, este suficientă o măsurare a abundenței sale actuale. Astfel, operația de datare se reduce la o problemă de măsurare a abundenței nuclizilor. Tehnicile fizicii nucleare pot oferi (sau nu) o cale spre realizarea acestui deziderat, aceasta depinzând de anumite circumstanțe.

Cunoaşterea abundenței inițiale a unui anumit nuclid, necesită, în general, atât o cunoaştere detaliată a istoriei trecute a comportării în mediu a nuclidului respectiv, cât şi o imagine a modului în care abundența sa inițială poate fi legată de o activitate umană de datat. În general, legat de această problemă, chimia nucleară a mediului reprezintă o disciplină mai relevantă decât fizica nucleară.

B) Măsurarea dozei de radiație acumulată

Doza acumulată din radiația mediului local poate fi măsurată cu ajutorul unui mare număr de metode. În acest scop se măsoară defecțiunile actuale din eşantion

induse de radiație. De asemenea, trebuie estimată defecțiunea inițală (în practică, însă, sunt alese numai acele situații în care aceasta este de presupus a fi nulă). În plus, mai trebuie cunoscută rata dozei din mediu pe perioada duratei trecute (în primă aproximație, aceasta este constantă şi va depinde de factori locali). În final, trebuie stabilită relația dintre rata dozei şi defecțiunea înregistrată în eşantion. În acest caz, operațiunea de datare devine o problemă de cuantificare a radioactivității mediului în timp şi de măsurare a defecțiunilor induse de radiații în eşantioanele arheologice. Această operațiune presupune o interacțiune destul de complexă între fizica stării solide, fizica radiației mediului şi paleogeochimie.

Cele două alternative prezintă o similaritate în abordarea lor: fiecare măsoară semnale foarte mici şi trebuie să ia în considerație multe efecte complicate de mediu. În acest scop însă ele utilizează tehnici total diferite. La unele din acestea ne vom referi, parțial, în cele de mai jos.

2.2. A) Măsurarea abundenței nuclizilor

2.2.1. Metoda ^{14}C

Datarea cu ajutorul ^{14}C reprezintă, probabil, cea mai directă metodă, ea fiind cel mai frecvent utilizată.

Principiul metodei: având în vedere datările arheologice, izotopii carbonului par a fi fost special destinați pentru acest scop. Nici un alt nuclid nu prezintă avantaje comparabile cu aceştia. În primul rând, ^{14}C are o perioadă de înjumătățire de 5730 ani [3], fapt care-l plasează ideal pentru datarea Holocenului, făcând posibile şi datări retroactive, pentru perioade echivalente cu ~ 10 perioade de înjumătățire.

În al doilea rând, şi cel mai important, acesta este distribuit (aproximativ) egal în timp şi spațiu pe suprafața Pământului, făcând astfel posibilă estimarea abundenței sale din trecut. După cum se ştie, ^{14}C ia naştere prin captura electronică a izotopului abundent de azot, ^{14}N, în atmosfera înaltă şi circulă sub formă de gaz (CO_2). Ciclul global al carbonului este de o importanță primordială pentru mediu, extrem de multe studii fiind consacrate circulației acestuia între atmosfera înaltă şi cea joasă, între atmosferă şi hidrosferă (95 % din CO_2 terestru aflându-se în adâncurile oceanului), între biosferă şi sedimente.

Pentru arheologie, prezintă mare interes faptul că $^{14}CO_2$ din atmosferă este preluat de plante în cursul procesului de fotosinteză şi, prin lanțuri alimentare succesive, este distribuit în biosferă. Prin urmare, toate animalele vii, oriunde s-ar afla, reflectă compoziția izotopică atmosferică (cu unele excepții speciale). Sensibilitatea prin care nivelele de concentrație ale ^{14}C atmosferic sunt vulnerabile la variația fluxului de radiații cosmice (cunoscut fiind faptul că variațiile câmpului magnetic solar şi terestru, modulează semnificativ rata de producție a ^{14}C) este mult redus (la scala de timp de 100 ani) de efectele de rezervor ale hidrosferei. Pentru o datare precisă, trebuie luate însă în considerație variațiile de producție ale ^{14}C din trecut. Acest lucru este posibil de realizat prin datarea cu radiocarbon a unui material de vârstă cunoscută (de exemplu, lemnul), datat în prealabil, independent, prin metoda dendrocronologică. În acest mod se poate construi o "curbă de calibrare" pentru Holocen care permite ca orice datare cu radiocarbon să poată fi corectată [4]. Din păcate, fluctuațiile din trecut pot conduce la o creştere semnificativă a erorilor de datare sau chiar la ambiguități în atribuirea unei date clare. Variația conținutului de ^{14}C atmosferic în anii recenți face foarte dificilă datarea ultimilor 300 de ani. Această perioadă de timp este uneori numită "pragul Stradivarius", deoarece datarea cu ajutorul ^{14}C nu a permis determinarea autenticității unei viori, presupusă a fi construită de Antonio Stradivari (1644 - 1737). În al treilea rând, carbonul are doi izotopi stabili, care pot fi utilizați pentru măsurarea gradului de fracționare izotopică ce are loc în cursul trecerii carbonului din atmosferă, în şi prin biosferă. De exemplu, materialul plantelor asimilează $^{12}CO_2$ mai uşor decât $^{13}CO_2$, şi $^{13}CO_2$ mai uşor decât $^{14}CO_2$. În plus, gradul de fracționare izotopică nu este o constantă; diferite plante fotosintetizează prin două căi metabolice principale. Grâul prezintă o diferență de 4 % în raportul $^{14}C/^{12}C$ față de cel din atmosferă (este îmbogățit în izotopul uşor), în timp ce porumbul prezintă o diferență de numai 1 % în acest raport. Deoarece fracționările izotopice $^{14}C/^{12}C$ şi $^{13}C/^{12}C$ sunt corelate, măsurătorile de rapoarte $^{13}C/^{12}C$ în eşantioanele ce trebuie datate, fac posibilă aplicarea unor corecții corespunzătoare măsurătorilor de abundență a ^{14}C (abundența necorectată poate altera datările cu erori de până la 400 ani).

În fine, observând cum sunt distribuiți izotopii carbonului în biosferă, se poate menționa că prin stoparea schimbului metabolic prin fotosinteză, lanțul alimentar încetează şi organismul mort devine un sistem închis. Raportul izotopilor carbonului ($^{14}C/^{12}C$) scade, conform curbei de dezintegrare radioactivă, şi o măsurare a acestui raport în prezent, permite evaluarea timpului scurs de la data morții. Mai trebuie menționat că, după ardere, organismul poate fi subiectul unor schimburi chimice ulterioare sau adiției unor materiale exterioare, şi că, pentru a se putea face o datare precisă, acest lucru trebuie luat în considerație.

Măsurătorile: La baza operației de datare cu ajutorul ^{14}C stă măsurarea raportului $^{14}C/^{12}C$ din eşantion. Acest raport variază de la o valoare de ordinul a 10^{-12} pentru eşantioanele actuale, până la o valoare de ordinul a 10^{-15} pentru eşantioane cu o vechime de 50.000 ani. O eroare de 1 % în măsurarea acestui raport conduce la o eroare de 80 de ani a datării. Majoritatea datelor arheologice din Holocen necesită însă precizii mai bune de ± 80 ani. Prin urmare, măsurătoarea trebuie să fie extrem de sensibilă, să acopere un domeniu dinamic mare şi să fie

foarte corectă şi precisă.

Iniţial, ^{14}C s-a măsurat prin detectarea radioactivităţii sale. Dificultăţile ce apar în acest caz, sunt legate de faptul că energia eliberată prin dezintegrarea β este variabilă şi destul de mică, nefiind uşor a se distinge de evenimentele datorate radiaţiei cosmice, aşa că din acest motiv, este necesară o protecţie cu totul specială a aparaturii de detecţie. Trebuie estimat şi substras un semnal de zgomot de fond destul de mare. Pentru a cumula suficiente evenimente detectabile, în vederea măsurării, cu precizia necesară a raportului izotopic, sunt necesare eşantioane destul de mari, cu un conţinut de carbon de 1-5 grame.

De fapt chiar şi pentru eşantioanele de vârstă recentă, rata numărării dezintegrărilor datorate ^{14}C este de numai 15 impulsuri pe minut şi pe gram de carbon. În ciuda acestor dificultăţi, metodele de numărare β au continuat să fie dezvoltate, utilizându-se atât contori proporţionali cu gaz (în special cu CO_2), cât şi contori cu scintilaţie, în cazurile în care sunt de efectuat măsurători cu o precizie de 0,2 % [5]. Aceştia au avantajul suplimentar de a nu fi prea costisitori pentru un laborator de ^{14}C, cu o capacitate de datare de ordinul sutelor pe an.

În ultimul timp, însă, pentru măsurarea ^{14}C s-a dezvoltat mult o metodă ce utilizează spectrometria de masă cu accelerator (SMA), unde detecţia se face prin tehnicile spectrometriei de masă. SMA este în general o metodă destinată măsurătorilor de nuclizi într-un domeniu de abundenţe situat sub 10^{-10}, fiind cea mai eficace metodă pentru măsurarea radionuclizilor a căror radioactivitate este "slabă" [6], deoarece este mult mai uşor să se măsoare nucleele "supravieţuitoare" decât cele ce se dezintegrează. În cazul ^{14}C se pot măsura eşantioane de până la 10^{14} ori mai mici decât cele investigate cu tehnicile de numărare β, acest lucru deschizând o nouă eră în studiile efectuate cu ^{14}C, dat fiind posibilitatea efectuării unei selecţii mult mai largi asupra a ceea ce se doreşte a se data. Primele rezultate le-au constituit datările acelor materiale care anterior nu puteau asigura în nici un mod eşantioane corespunzătoare (de exemplu, materia organică din picturile rupestre). Apoi a crescut serios încrederea în datările obţinute. Aceasta se datorează atât unor condiţii mai bune de prelevare, cât şi procedeelor chimice mai adecvate de eliminare a contaminărilor din mediul extern al eşantionului, operaţie de cea mai mare importanţă pentru obţinerea unor datări de încredere [7].

În al doilea rând, laboratoarele SMA sunt capabile să furnizeze mult mai rapid rezultate (deşi încă nu mai ieftin), tinzând să preia majoritatea atribuţiilor care anterior reveneau laboratoarelor de numărare β.

Problema firească ce apare la orice tip de spectrometru de masă este cea legată de apariţia izobarilor (pentru radiocarbon aceştia sunt: ^{14}N, şi moleculele $^{12}CH_2$ sau ^{13}CH) şi preponderenţa covârşitoare a izotopilor (de până la 10^{15} ori mai mult ^{12}C decât ^{14}C). În ambele privinţe, utilizarea unui accelerator tandem s-a dovedit a fi decisivă.

În datările cu ajutorul ^{14}C prin metoda SMA, eşantionul de analizat este mai întâi decontaminat chimic (de exemplu, dintr-un os, proteinele sunt extrase şi purificate), apoi convertit la grafit şi în cele din urmă la C^-. Ca o primă linie de discriminare între izobari se foloseşte "chimia" producerii fasciculului de ioni negativi. De exemplu, în cazul generării abundente a C^-, nu se pot forma ioni negativi de ^{14}N. Ionii negativi de masă 14 sunt apoi selectaţi şi injectaţi într-un accelerator tandem de ~ 2 - 5 MV, unde sunt stripaţi după o primă accelerare la C^{3+} sau C^{4+}. După a doua etapă de accelerare, fasciculul de ioni pozitivi este analizat în continuare, după mase. Prin selectarea ionilor cu sarcină multiplă, se elimină orice fond molecular. Înlăturarea din fascicul a majorităţii ionilor diferiţi de ionii de ^{14}C, permite detectorului să numere ioni singulari, iar pentru că analiza se face la energii mai mari decât în cazul spectrometriei de masă convenţionale, pentru confirmarea identificării ^{14}C dintr-o semnătură bazată pe energia totală şi rata pierderii de energie când este stopat în detector, se pot utiliza tehnicile fizicii nucleare bine puse la punct.

Rata de numărare pentru eşantioane de dată recentă este tipic de 1.000 impulsuri pe minut. Raportul izotopic se măsoară prin compararea ratei de numărare cu curentul fasciculului de izotop stabil corespunzătoare eşantionului, cu cea corespunzătoare a unui standard.

Laboratoarele SMA actuale permit efectuarea a 1000 - 2000 datări pe an.

Datările cu ^{14}C sunt atât de mult aplicate, încât exemplele de impact al acestora în probleme de arheologie sunt nenumărate, iar cele mai remarcabile dintre ele, sunt probabil bine cunoscute.

Vom menţiona însă aici un exemplu recent: datarea cu ajutorul ^{14}C a perioadei în care a trăit omul gheţii ("Ice Man") din Alpi. Această perioadă s-a determinat prin măsurători asupra eşantioanelor de os, ţesut şi iarbă din jur [8]. Din măsurătorile efectuate în patru laboratoare SMA (Oxford, Zurich, Paris, Uppsala), a rezultat o vârstă ^{14}C medie, foarte precisă, de 4546 ± 17 ani BP (Before Present 1950). Datorită aplatizării curbei de calibrare, aceasta conduce la o perioadă în care ar fi trăit acest om, situat între 3350 şi 3100 BC. În ciuda intervalului de timp relativ mare, o comparaţie cu culturile din jurul Alpilor, datate în Neolitic, permit acum arheologilor să delimiteze locul de origine al omului gheţii.

2.2.2. Alte metode de datare bazate pe tehnica SMA

Tehnica SMA a fost utilizată şi pentru măsurarea altor nuclizi de viaţă lungă din mediu, cum sunt ^{10}Be, ^{26}Al, ^{36}Cl şi ^{41}Ca. Nici unul dintre aceştia nu sunt distribuiţi uniform, astfel încât abundenţa iniţială a acestora este de obicei foarte dificil de estimat. Aplicaţia cea mai de succes se referă la măsurarea vârstelor "de expunere", unde producţia nuclizilor apare *in situ*, în roci, prin reacţii de spalaţie induse de radiaţia cosmică asupra Si, pentru

producerea Be şi Al, sau prin captura neutronică a ^{40}Ca, pentru producerea Ca.

O propunere de tehnică aplicabilă direct în arheologie a fost cea de măsurare a ^{41}Ca în oseminte, ea comportând măsurarea expunerii osului (de exemplu, în perioada cât acesta s-a aflat protejat într-o cavernă). Din păcate, abundența ^{41}Ca în osul animalului viu pare a fi extrem de variabilă. În plus, ^{41}Ca este foarte dificil de măsurat la concentrații corespunzătoare abundenței sale naturale, chiar cu SMA. Prin urmare, în ciuda atractivității sale pentru datări de perioade situate dincolo de limita de 50.000 ani, corespunzătoare metodei ^{14}C, aceste metode încă nu au nici un impact serios în datările arheologice.

2.2.3. Datările cu metoda potasiu-argon (K – Ar)

Arheologia se situează la limita posibilităților de datare ale metodei K-Ar, deoarece ^{40}K are o perioadă de înjumătățire de 1,27 x 10^9 ani [3]. Dar metoda a fost vitală atât pentru datarea primelor situri umanoide, cât şi pentru datări absolute în stratigrafie (de exemplu, inversiunea geomagnetică).

Pentru datarea cu metoda K-Ar este suficient să se măsoare raportul ^{40}Ar/^{40}K actual şi să se presupună că, la momentul de start, conținutul în ^{40}Ar a fost nul. ^{40}Ar acumulat este descendentul cantității cunoscute de ^{40}K (fără contaminare atmosferică, ce poate fi măsurat separat). Această tentativă de datare presupune ca roca să fi avut la momentul de start toate gazele inerte eliminate, la o temperatură înaltă. Această situație corespunde foarte bine erupțiilor vulcanice. Sarcina arheologului va consta deci în a corela stratigrafia erupțiilor, la arheologie. Din fericire, depunerile din Pliocen şi Pleistocen din African Rift Valley, unde au fost localizate atâtea evidențe ale primilor umanoizi, sunt apropiate de activitățile vulcanice frecvente, iar tufurile dintre straturile cu depozite sedimentare reprezintă o trăsătură caracteristică a stratigrafiei.

Cele mai tinere vârste măsurabile cu metoda K-Ar depind de existența unui conținut ridicat de potasiu în rocă (pentru a produce ^{40}Ar radiogen măsurabil), ele putând fi suprapuse pe intervalul de timp corespunzător radiocarbonului. Principala problemă într-o operațiune de datare cu metoda K-Ar o poate constitui selectarea materialului care a staționat într-un sistem închis de la formarea sa, astfel încât să nu se fi pierdut argon de natură radiogenă. O îmbunătățire substanțială a preciziei datării s-a obținut recent măsurând simultan potasiul şi argonul prin conversia (parțială) a ^{39}K în ^{39}Ar, prin iradiere cu neutroni. Acest lucru permite ca ^{40}Ar şi ^{39}Ar să poată fi măsurați împreună, în acelaşi spectrometru de masă [9].

2.2.4. Metoda dezechilibrelor din seriile uraniului

Printre descendenții ^{238}U şi ^{235}U există nuclizi cu perioade de înjumătățire corespunzătoare pentru datările arheologice. Într-un sistem închis ce conține uraniu, descendenții acestuia vor ajunge eventual într-un echilibru secular. Dacă sistemul poate fi pornit din nou, se poate urmări evoluția echilibrului secular şi măsura data de la "start". Pentru datările cu ajutorul metodei dezechilibrelor din seriile uraniului, acest start reprezintă un eveniment geochimic, incluzând de obicei imobilizarea uraniului din soluție. Cazul clasic îl reprezintă depunerea calcitului în peşteri, sub formă de speleothem, deoarece uraniul, mobil din punct de vedere geochimic, este încorporat în rețea, în timp ce thoriul este eliminat. Presupunând că speleothemul acționează ca un sistem închis, uraniul încorporat (şi în particular, abundența foarte mică a ^{234}U, cu perioada sa de înjumătățire de 2,46 x 10^5 ani [3]), repornește dezvoltarea echilibrului secular. Cel mai semnificativ produs descendent este ^{230}Th, raportul ^{230}Th/^{234}U reprezentând deci o măsură a timpului scurs din momentul cristalizării. Amplasarea speleothemului şi travertinului din caverne este adesea foarte bine asociată cu stratigrafia arheologică, multe situri importante fiind datate cu această metodă [10]. Intervalul de timp se întinde de la ~ 10.000 ani (în care s-a acumulat insuficient ^{230}Th), până la ~ 300.000 ani (în care echilibrul secular a fost atins mai mult sau mai puțin). Astfel, această metodă reprezintă un auxiliar foarte util al datărilor cu ^{14}C.

Măsura în care un sistem a rămas închis pe perioada încorporării rocii detritice insolubile, adesea conținând thoriu, este extrem de important, aceasta putând complica mult sau chiar degrada operațiunea de datare.

Datarea formării calcitei nu este singura aplicație a metodei. Ea a fost aplicată şi la turbării (unde uraniul care circulă prin pânza freatică, este reținut de materia organică) şi oseminte (unde el este reținut de hidroxiapatită). În aceste cazuri însă, extinderea comportării ca un sistem deschis, reprezintă un neajuns major.

Măsurarea rapoartelor ^{239}Th/^{234}U este însoțită mai întâi de o separare chimică (prin schimb ionic) urmată, fie de o spectrometrie α, fie - prin analogie cu înlocuirea numărării β a ^{14}C cu SMA - de o spectrometrie de masă cu termoionizare (SMTI). Sensibilitatea SMTI - la fel ca a SMA - permite măsurarea de eşantioane mai mici şi, prin intermediul detectării mai multor nuclee, oferă date cu mult mai precise [11].

2.3. B) Metode bazate pe defectele cumulate induse de radiație

Principiul de bază al acestor metode constă în a utiliza ca dozimetru de radiație un eşantion arheologic corespunzător. În acest caz apar probleme datorate faptului că puține materiale, importante din punct de vedere arheologic, prezintă sensibilitatea, linearitatea şi stabilitatea necesare pentru a putea fi utilizate ca dozimetre de laborator. În estimarea dozei de radiație a eşantionului, mai apare o problemă legată, parțial, de complexitatea spectrului energetic al radiației (radiația cosmică, componentele α, β şi γ - toate cu caracteristici

specifice, generate de elemente individuale, în faze mineralogice variate), şi parţial, datorată diferitelor situaţii din trecut, cu care a interferat.

2.3.1. Metoda termoluminiscenţei (TL)

Deşi metoda TL a fost aplicată cu mult succes la datarea diferitelor vase de lut arse, prin aplicarea ei la datarea relicvelor relativ rare de silex ars în antichitate, din perioade de timp ce se situează în afara celor databile cu ^{14}C, ea a avut un mare impact arheologic. Metoda este aproape identică în ambele cazuri. Defecţiunile de reţea din cuarţ (în principal apariţia electronilor neîmperechiaţi şi a golurilor ce devin "permanent" captate prin recombinare) pot fi puse în evidenţă, sub forma unei luminiscenţe slabe, încălzind materialul la o temperatură de 350°C. Astfel se poate trasa o curbă caracteristică a fluxului luminos de emisie, în funcţie de temperatură. Utilizând surse de radiaţie standard, de laborator, acelaşi eşantion poate fi apoi calibrat în ce priveşte sensibilitatea şi linearitatea sa.

O mare parte a dozei de radiaţie provine din imediata vecinătate a probei (distanţe de ordinul micronilor pentru sursele α, milimetrilor pentru sursele β, centimetrilor pentru sursele γ). Locul unde se efectuează măsurătoarea este atent supravegheat cu ajutorul unor dozimetre, care pot include şi componenta zilei respective a radiaţiei cosmice. Un anumit număr de complicaţii limitează însă precizia de determinare a ratei dozei integrate. Variaţiile în conţinutul de apă modifică atenuarea radiaţiei şi, în particular, întrerupe deplasarea radonului, ce reprezintă o componentă importantă a radiaţiei furnizate de lanţul descendenţilor nuclidului de uraniu. De asemenea, rata dozei totale este afectată de nivelul la care se menţine echilibrul secular al nuclizilor descendenţi. Obstacolul principal într-o operaţie de datare mai precisă constă mai mult în estimarea ratei dozei decât în estimarea dozei primite [12].

Datarea prin TL a fost utilizată în numeroase cazuri. Peşterile de la Kebara şi Qafzeh (Israel) reprezintă exemple cunoscute [13]. Aici a existat suficient silex pentru a permite ca o stratigrafie largă să fie datată şi să se arate că aceste peşteri au fost ocupate cu mult înainte de istoria modernă a omului, decât se credea până acum. În cealaltă extremă, TL a fost utilizată pentru datarea vaselor din timpuri recente, în acele cazuri în care metoda ^{14}C nu a dat rezultate suficient de precise. Aceasta a inclus chiar şi materiale de muzeu, în cazurile în care nu a existat un context original pentru ceramică. Datările pot fi destul de aproximative, dar sunt de mare valoare în operaţiunile de autentificare a materialelor. Ca exemple, se pot da presupusele ceramici neolitice Anatoliene sau teracotele Renaşterii.

2.3.2. Extinderea metodelor de luminiscenţă

Cercetările din ultimii ani au arătat că lumina de zi ambientală va putea servi la călirea materialului fin granulat în acelaşi mod ca arderea ceramicii sau silexului. Aceasta a deschis calea pentru datarea formaţiunilor sedimentare, cum sunt depozitele de loess, nisipul dunelor etc. [12]. Ele pot să nu aibă în mod necesar o relevanţă arheologică, decât în cadrul corelaţiilor stratigrafice la scală mare. Totuşi, datorită lipsei materialului organic, zonele aride sunt dificil de datat cu ^{14}C (chiar prin utilizarea SMA).

2.3.3. Metoda rezonanţei electronice de spin (RES)

Reprezintă o altă metodă de măsurare a concentraţiei electronilor într-o capcană specifică. RES şi-a găsit aplicaţia sa principală la datarea materialelor ce nu pot fi datate cu metoda TL, cum sunt calcitele, osemintele şi dinţii. Prin urmare ea are mai multe în comun cu metoda dezechilibrelor din seriile uraniului şi deci, cele două metode pot fi utilizate pentru studiul aceluiaşi material, în vederea confirmării independente a datării [14].

Emailul dinţilor pare a avea proprietăţi corespunzătoare speciale pentru RES. Studii importante au fost efectuate asupra dinţilor găsiţi într-o serie de peşteri, datând dinaintea unor perioade abordabile, cu metoda ^{14}C. Toate acestea, împreună, au contribuit la o documentare serioasă legată de apariţia omului modern [15], precum şi la confirmarea măsurătorilor TL, amintite anterior.

Metoda RES se află încă în stadiu de dezvoltare. Se speră să se obţină date din cuarţurile cu vârste situate mult dincolo de limita de saturaţie a TL.

2.3.4. Metoda urmelor de fisiune

Această metodă este inclusă pentru completare. Unele minerale, dacă sunt suficient de abundente în conţinut de uraniu, prezintă urme microscopice la decapare (lusstruire), datorate defectelor cauzate de reculul fragmentelor provenite din evenimente de fisiune destul de rare. Aceste urme pot fi călite termic, astfel încât să se poată utiliza ca dozimetre interne pentru doza acumulată de la ultima călire. Metoda are cea mai importantă aplicaţie pentru scale de timp de peste 1 Ma, şi a fost utilizată la verificarea datelor oferite de metoda K-Ar asupra depozitelor vulcanice.

2.4. Rezumat şi concluzii

Pentru efectuarea datărilor arheologice există o multitudine de metode, din care, toate cele menţionate mai sus, necesită o cunoaştere detaliată a radionuclizilor în mediu şi adesea în laborator. Puţine dintre acestea au devenit metode de rutină şi, datorită faptului că datările arheologice implică o precizie deosebită, ele presupun şi un nivel foarte înalt de expertiză tehnică.

Cercetările şi dezvoltările se desfăşoară pe mai multe direcţii. La metodele bine puse la punct şi în particular, la cele de rutină, principalul scop urmărit este acela de a li se îmbunătăţi treptat performanţa (precizia, domeniul de vârstă, costul, domeniul materialelor aplicabile). Multe dintre metodele descrise sunt încă insuficient testate sau depind de o cunoaştere a efectelor mediului, care este încă insuficient studiat. Pe lângă unele solicitări de îmbunătăţire legate de posibilităţile tehnice (ca de exem-

plu, echipamentul de laborator), mai sunt necesare multe eforturi pentru studii combinate ale materialului şi al contextului în care se află, preferabil cu utilizarea la maxim a materialelor de vârstă cunoscută sau de o vârstă verificată cu metode alternative.

În fine, mai trebuie menționat că, în ciuda arsenalului de tehnici disponibile pentru datare, există şi multe limitări. De exemplu, datările cu metoda ^{14}C pentru primul mileniu BC sunt destul de imprecise (din cauza variației fluxului radiației cosmice). Nu există o cale eficace pentru datarea uneltelor de piatră și nici pentru datarea confecționării artefactelor metalice. Aşa că multe dintre aceste probleme rămân a fi rezolvate în viitor.

2.4.1. Cercetări curente în Europa

a) Datarea cu metoda ^{14}C

Numărul laboratoarelor europene ce permit numărarea particulelor β a fost în declin de câtva timp: din cele peste 20 de laboratoare existente, azi sunt active vreo 12, distribuite destul de uniform pe suprafața continentului. Distribuția laboratoarelor SMA este cu mult mai arbitrară. De exemplu, în Germania s-au efectuat foarte puține datări arheologice cu SMA. În funcție de numărul operațiunilor de datare arheologică efectuate, ordinea ar fi următoarea: Oxford (Anglia), Zürich (Elveția), Uppsala (Suedia), Ütrecht (Olanda), Gif-sur-Yvette (Franța), Äarhus (Danemarca), Napoli (Italia), Erlangen (Germania), la care se mai adaugă noile laboratoare autorizate din Gröningen (Olanda), Kiel (Germania) și Vienna (Austria). De notat că majoritatea laboratoarelor citate mai sus (fără Oxford) măsoară cel puțin și un alt nuclid (^{10}Be fiind cel mai frecvent). Spre deosebire de alte metode, datarea cu ajutorul metodei ^{14}C are o puternică bază comercială, şi într-o oarecare măsură, densitatea laboratoarelor reflectă un echilibru între ofertă şi cerere (deşi trebuie precizat că datările de interes arheologic reprezintă numai o parte dintre solicitările totale).

b) Datarea cu metoda K – Ar şi a dezechilibrelor din seriile uraniului

Cercetările de acest gen se desfăşoară în Departamentele de ştiințe ale Pământului, facilitățile fiind relativ comune, deşi aplicațiile în arheologie sunt mai specializate. De fapt, solicitările arheologice pentru datări prin metoda K-Ar sunt destul de reduse. Apariția SMTI este de dată recentă, numărul laboratoarelor interesate în aplicarea ei, la datările cu metoda dezechilibrelor din seriile uraniului, fiind în creştere. În literatură, efortul principal legat de datările siturilor arheologice cu ajutorul metodei dezechilibrelor din seriile uraniului este limitat la un număr mic de grupuri. Multe dintre aceste grupuri sunt responsabile şi de dezvoltarea metodelor RES în Europa.

c) Datarea cu metoda termoluminiscenței şi a metodelor asociate

Principalele centre de cercetări ce urmăresc aplicațiile acestor metode la datări arheologice sunt localizate la Oxford, Gif-sur-Yvette și Risó (Danemarca). Acestea au fost de fapt şi principalii promotori ai dezvoltărilor importante din ultimele decenii.

Bibliografie

1. P.A. Mandò, G.W. Grime, R.E.M. Hedges, W. Kutschera: Art and Archaeology, "Impact and Applications of Nuclear Science in Europe: Opportunities and Perspectives", NuPECC Report, 97 – 104, Dec. 1994.
2. G. Văsaru, C. Cosma: Geocronologie nucleară – Metode de datare prin fenomene nucleare naturale, 350 p., Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1998.
3. Nuclides and Isotopes, Chart of the Nuclides, 16th edition, KAPL, Lockheed Martin, 2002, KAPL. Inc.
4. M. Stuiver, A. Long, R. Kra, eds: Radiocarbon 35 (1), 1993.
5. W.G. Mook: Radiocarbon 2 (2), 475, 1992.
6. A.E. Litherland *et al.*, eds., Proc. Royal Discussion Meeting, London, The Royal Society, 1987.
7. R.E.M. Hedges, Nucl. Instr. & Meth. B, 52, 428, 1990.
8. R. Prinoth-Fornwagtner, Th.R. Niklaus: Nucl. Instr. & Meth. B, in press.
9. D. York *et al.*,: Geophys. Res. Lett., 1136, 1981.
10. H.P. Schwarcz: Archaeometry 22, 3, 1980.
11. R.L. Edwards *et al.*,: Earth Planet Sci. Letters, 90, 371, 1988.
12. M.J. Aitken: Science Based Dating in Archaeology, Chap. 6, Longman, London, 1990.
13. H. Valladas *et al.*, Nature, 331, 614, 1988.
14. F.McDermott *et al.*,: Nature, 363, 252, 1993.
15. R. Grun, C.B. Stringer: Archaeometry, 33, 153, 1991.

Dr. Gheorghe VĂSARU

gvasaru@hotmail.com

O abordare a fisurilor în nanotehnologie

În majoritatea tehnologiilor, fisurile sunt, în mod uzual, ceva care trebuie evitat, iar industria semiconductorilor nu face excepție. Recent, ingineri din Coreea de Sud au arătat cum inițierea și apoi controlarea răspândirii fisurilor de dimensiuni nanometrice poate fi utilizată pentru a crea figuri proiectate dinainte într-o foaie de siliciu. Ei afirmă că abordarea lor oferă o alternativă mai rapidă și mai ieftină litografiei convenționale pentru fabricarea circuitelor integrate. Koo Hyun Nam de la *The Ewha Womans University in Seoul* și colegii au controlat formarea de astfel de fisuri pentru a crea figuri elaborate într-un substrat de siliciu. Pentru a face aceasta, au gravat structuri minuscule în locuri particulare și cu orientări specifice în foi de siliciu de 0,5 mm grosime. Ideea a fost că aceste „micro-crestături" ar concentra tensiunea rezultată din depunerea unui film subțire de nitrat de siliciu pe substrat. De asemenea, ei au separat o parte de structură din substrat pentru a opri răspândirea fisurilor sau pentru a izola unele regiuni din foaie față de fisuri. ■

Aplicațiile metodelor de datare în studiul şi protecția mediului

1. INTRODUCERE

Metodele, procedeele şi tehnicile de datare dezvoltate în domeniul fizicii nucleare reprezintă un puternic instrument pentru cercetările interdisciplinare legate de mediu şi protecție a acestuia, oferind noi posibilități pentru aplicații. Avantajul principal al acestora constă în înalta lor sensibilitate şi precizie în măsurătorile de radioactivități slabe şi în identificarea lor.

În cadrul acestui articol vom examina succint tehnicile de măsurare, metodele şi procedeele utilizate, procesele implicate şi aplicațiile principale (§ 2 - 5), precum şi câteva exemple de activități de cercetare (§ 6) şi perspectivele acestora (§ 7), [1 - 2].

2. TEHNICILE DE MĂSURARE

Tehnicile principale de măsurare sunt: Spectrometria de Masă la energii joase (SM), Spectrometria de Masă cu Accelerator (SMA), Detecția dezintegrărilor radioactive, Analiza prin activare cu neutroni (AAN) şi Tehnica emisiilor de raze X sau raze γ induse de particule (PIXE = Particle Induced X-ray Emission sau PIGE = Particle Induced Gamma Emission). SM este utilizată pentru măsurarea rapoartelor de izotopi stabili, ca δD (= D/H), $\delta^{13}C$ (= $^{13}C/^{12}C$) sau $\delta^{18}O$ (= $^{18}O/^{16}O$). Cu ajutorul SMA, prin măsurarea pierderilor de energie, stripării complete a ionilor sau determinării stării de sarcină medie a acestora, pe lângă numărul de masă A, se mai poate identifica şi numărul atomic Z. Limita de detecție a metodei SMA este de ordinul a 10^{-15}. Perioadele de dezintegrare ale radionuclizilor detectați cu SMA, variază între 10^2 şi 10^8 ani. În operațiile de detectare a proceselor de dezintegrare radioactivă, se urmăreşte fie radioactivitatea propriu-zisă, fie produşii de dezintegrare sau evenimentele induse de acestea. Tehnicile utilizate pentru elucidarea evenimentelor induse de dezintegrarea radioactivă sunt Analiza urmelor de fisiune şi Termoluminiscența (TL).

Adesea se utilizează şi tehnica PIXE cu fascicule de protoni, cu spoturi focale de ordinul mm.

3. METODE ŞI PROCEDEE

Cele mai importante metode şi procedee se bazează pe urmărirea proceselor în spațiu şi timp şi analiza efectelor de fracționare izotopică. Pentru studiul proceselor de transport din mediu, ca trasori naturali sau artificiali pot fi utilizați izotopii stabili sau radioactivi. Condițiile pentru efectuarea unei astfel de aplicații sunt următoarele:

a) cantitatea substanței trasoare să fie atât de mică, încât influența acesteia asupra procesului studiat să fie neglijabilă;

b) sursele şi drumul trasorului să fie cunoscute;

c) trasorul să poată fi conservat.

Ca exemple de trasori se pot da gazele, ca ^{85}Kr (pentru studiul amestecării atmosferei), ^{39}Ar (pentru studiul amestecării apei oceanului), ^{3}H, ^{36}Cl (pentru studiul apei în raport cu radionuclizii), ^{10}Be, ^{26}Al, şi ^{210}Pb (pentru studiul particulelor în raport cu radionuclizii). Operațiunea de datare se bazează pe legea dezintegrării radioactive, căreia i se mai pot adăuga ipoteze şi corecții asupra inputului radioactivității în sistem. Dezintegrarea radioactivă poate fi observată fie direct, prin măsurarea radioactivității cu ajutorul unui detector, fie prin observarea scăderii numărului de nuclee părinte, ca în măsurătorile prin SMA, sau prin identificarea nuclizilor descendenți, produşilor de fisiune sau fenomenelor induse prin dezintegrare, ca în cazul TL. Abundența izotopică a unui anumit element într-un compus chimic depinde de parametrii externi, cum ar fi temperatura din perioada de formare a acestuia şi de tipul reacțiilor chimice sau fizice implicate. Fracționarea izotopică este mai pronunțată în special la elementele uşoare.

4. PROCESELE FIZICE DIN MEDIU

Procesele importante ce joacă un rol cheie asupra mediului sunt următoarele: producerea, schimbul, amestecarea, difuzia, evaporarea şi evapo-transpirația, condensarea, adsorbția şi desorbția, dizolvarea şi resuspensia sau eroziunea, subducția, procesele de ridicare, sedimentare şi transport coastal. În ce priveşte producția, gazele în urme (aerosolii), radionuclizii şi praful, sunt generate natural şi antropogen. În atmosferă, de exemplu, mulți radionuclizi sunt produşi pe cale naturală, prin reacții induse de radiația cosmică. Astfel, ^{14}C este produs prin reacția indusă de neutroni asupra azotului: $^{14}N(n,p)^{14}C$. Mulți alți nuclizi sunt produşi prin reacții de spalație sau alte reacții nucleare cu atmosfera.

Procesele de schimb apar între diferite rezervoare cum sunt stratosfera - troposfera, atmosfera - hidrosfera, biosfera - atmosfera. Parametrii importanți ce intervin aici sunt vitezele de schimb, timpul de rezidență şi volumul rezervorului. Procesele de amestecare în mediu sunt: amestecarea atmosferei, circulația din oceane şi bioturbația. Circulația din ocean poate fi studiată cu ajutorul ^{14}C natural sau produs în cursul testelor nucleare din atmosferă. Procese geologice ca eroziunea, subducția, ridicările şi sedimentările pot fi studiate prin măsurarea concentrațiilor şi profilelor de adâncime corespunzătoare radionuclizilor cosmogeni.

5. APLICAȚIILE

Tehnicile, metodele şi procesele menționate mai sus pot fi aplicate cu succes pentru îmbunătățirea cunoştințelor noastre asupra mediului sau sistemelor climatice, pentru descrierea şi monitorizarea acestor sisteme, precum şi pentru protecția lor față de alterările antropogene. Principalele aplicații sunt legate de climat, pânza freatică şi protecție.

5.1. Climatul

Climatul este controlat de dinamica materiei şi energiei din şi între diferite rezervoare ale mediului. El este de-

pendent de o serie de parametri ca: temperatura, radiația solară, umiditatea, precipitațiile, curenții de aer etc. Rezervoarele importante pentru climat sunt: atmosfera - cu gaze aflate în cantități mici (în urme), aerosolii, radionuclizii (în urme) și praful, hidrosfera - ce cuprinde oceanele, râurile, lacurile, pânza freatică, umiditatea și precipitațiile, litosfera - cu rocile, nisipurile, solurile și sedimentele, criosfera - ce conține straturile de gheață polară și ghețarii, și biosfera. Fluxul de energie, în principal de origine solară, reprezintă, alături de dezintegrările radioactive și efectele fluxului și refluxului, principala cauză a dinamicii sistemului de mediu, ce conduce la circulația oceanică și atmosferică, schimbul dintre rezervoare, producerea biomasei, ciclul apei și multe alte procese. Arhiva principală de date o constituie însă stratul de gheață polară, ghețarii, sedimentele, loessul, coralii și inelele copacilor. Intervalul de timp acoperit de această arhivă variază de la vârste de câțiva ani (inelele copacilor, corali) la milioane de ani (sedimentele).

Variabilitatea climatului poate fi de origine naturală sau antropogenă. Obiectivele cercetate sunt reprezentate de paleoclimat și nivelele de bază pre-industriale. Modificările externe forțate ale climatului au putut fi declanșate atât de gazele cu efect de seră, cât și de variațiile constantei solare și efectele orbitale.

Măsurătorile de conținut de ^{14}C și $\delta^{13}C$ în gazele din atmosferă (CO sau CH_4), permit să se distingă între originea naturală sau antropogenă a acestor modificări și să se corecteze influențele variabile ale surselor antropogene. Prin intensitatea vântului solar, ciclul solar modulează atât radiația solară, cât și producția de radionuclizi naturali pe Pământ. Efectul variației parametrilor orbitali ai Pământului asupra climatului a fost descris de teoria lui Milankovic, ale cărei prevederi pot fi testate prin determinări de $\delta^{18}O$ în sedimentele marine de adâncime.

5.2. Pânza freatică

Există un mare interes pentru pânzele freatice, acestea constituind o sursă importantă de apă potabilă. Dintre obiectivele aflate acum în studiu amintim, printre altele, vârsta acestora, realimentarea, compoziția elementală, procesele de scurgere și salinificare (§ 6.3).

5.3. Protecția mediului

Aplicațiile legate de protecția mediului cu ajutorul tehnicilor nucleare implică operațiuni de monitorizare, inputurile din testele nucleare sau accidentale (din reactori), studii de eroziune, precum și alte procese geologice. Monitorizarea se referă la radionuclizi, elementele în urme, gazele nobile, gazele cu efect de seră, aerosolii și poluarea. Poluarea atmosferică se studiază prin analiza aerosolilor și a gazelor în urme.

Una dintre aplicații o constituie monitorizarea Online și Offline a compoziției combustibililor fosili, de exemplu, a cărbunelui de pe benzile transportoare ale conveierului sau a cenușii din instalațiile termice (§ 6.6.2).

O altă aplicație o constituie monitorizarea radionuclizilor din industria nucleară. Pentru instalațiile de reprocesare a combustibilului nuclear, principalii indicatori sunt: ^{85}Kr, ^{129}I, precum și ^{3}H, ^{14}C și respectiv ^{36}Cl (§ 6.5). În locurile de depozitare a deșeurilor nucleare, se măsoară și controlează concentrațiile produșilor de fisiune cu viață lungă sau neutronii generatori de radioactivitate. Se studiază schimbul cu apele de adâncime și migrația radionuclizilor și a elementelor otrăvitoare. În cazul depozitării deșeurilor nucleare în mare, se măsoară concentrațiile radionuclizilor scurși în apa mării.

O a treia aplicație o constituie monitorizarea radonului natural din imobile (§ 6.8).

De asemenea, mai poate fi măsurat și urmărit în timp, inputul radionuclizilor rezultați din testele nucleare sau din accidentele de reactor, ca și cele de la Chernobyl sau Fukushima, în diferite rezervoare.

6. EXEMPLE DE ACTIVITĂȚI DE CERCETARE

6.1. Producerea radionuclizilor cosmogeni

6.1.1. Producerea ^{36}Cl în atmosferă

^{36}Cl este produs în atmosferă, în special prin reacții de spalație, prin reacțiile nucleare ale neutronilor și protonilor din radiația cosmică cu ^{40}Ar, precum și prin reacțiile $^{36}Ar(n,p)^{36}Cl$ și $^{35}Cl(n,t)^{36}Cl$. Producția atmosferică a radionuclizilor cosmogeni a fost calculată de Lal și Peter [3]. Pentru a calcula mai precis producția de ^{36}Cl datorată componentelor solare și galactice ale radiației cosmice, s-a măsurat secțiunea eficace a reacției $^{40}Ar(x,xp3n)^{36}Cl$, unde x = p, n, pentru un domeniu de energii cuprins între 30 și 1.000 MeV, iradiind țintele de Ar gazos cu protoni, și măsurând ^{36}Cl produs, cu metoda SMA. Rezultatele obținute au fost comparate cu cele oferite de calculele pe baza parametrizărilor lui Rudstam [4] și Silberger și Tsao [5]. Parametrizarea Silberger-Tsao descrie bine rezultatele din jurul energiilor de 1 GeV, în timp ce formalismul lui Rudstam dă o concordanță foarte bună cu experimentul, după normalizarea la 1 GeV. Cu aceste secțiuni eficace, rezultă o producție atmosferică cosmogenă medie pentru ^{36}Cl de 19 atomi/m^3/s față de 11 atomi/m^3/s estimată de Lal. Măsurarea timpului de rezidență mediu al ^{36}Cl produs în stratosferă a condus la o valoare de 1 - 2 ani [6].

6.1.2. Producția cosmogenă a radionuclizilor în litosferă

În primii câțiva metri de adâncime ai litosferei, mulți dintre radionuclizi sunt produși în mare măsură prin reacții de spalație induse de razele cosmice. În straturile adânci, cuprinse între câțiva metri și câteva sute de metri, procesul are loc prin reacții induse de muonii rapizi sau prin reacții cu muoni negativi stopați. La adâncimi de câteva sute de metri, aceștia sunt produși prin reacții induse ale Th și U. Reacțiile de captură neutronică, dacă acestea sunt posibile, vor avea loc cu neutronii proveniți din una sau două reacții. Contribuția reacțiilor de spalație scade exponențial cu adâncimea z.

Exemple de combinare a câtorva radionuclizi în același mineral sunt cele ale ^{10}Be și ^{26}Al în cuarț (SiO_2), ale ^{10}Be și ^{36}Cl în calcar ($CaCO_3$) sau ale ^{26}Al și ^{53}Mn în pirită (FeS). În cazul ^{26}Al în cuarț, la PSI Villigen, s-a măsurat, prin SMA, tăria canalului $Si(\mu^-,\nu_\mu xn)^{26}Al$, după iradierea unei ținte de

cuarț cu muoni negativi lenți. Rapoartele ^{26}Al/Si, în acord cu spalația și captura muonică negativă, în funcție de adâncimea z, pentru o altitudine de 600 m deasupra nivelului mării, pentru diferite viteze de eroziune au fost calculate de Strack *et al.* [7]. O comparație cu rapoartele măsurate pentru eșantioane de cuarț din nordul Bavariei (Egerer Waldhäusl, Poppenreuth, Püllersreuth, toate de la ~ 600 m deasupra nivelului mării), - o regiune cu eroziune joasă și de la Oberndorf (Kitzbühel, Austria), - o regiune cu eroziune înaltă, a condus, pentru regiunea selectată din nordul Bavariei, la o rată de eroziune de ϵ ~ 100 m/Ma.

Ratele de eroziune mai pot fi determinate și prin analiza urmelor de fisiune.

6.2. Paleoclimatul dedus din miezul gheții polare

Una dintre cele mai importante tematici discutate la ora actuală în știința mediului o constituie impactul uman asupra climatului. Pentru a prevedea efectele acestuia în viitor, trebuie să se cunoască mult mai multe lucruri asupra răspunsului sistemului Pământului la schimbările forțelor externe și asupra variabilității naturale a climatului din trecut. Cele mai promițătoare instrumente pentru investigarea istoriei mediului sunt izotopii stabili și radioactivi, care conservă informația asupra paleoclimatului din diferite arhive, cum sunt întinderile de gheață și sedimentele. Pentru a ilustra potențialul metodelor izotopice în știința mediului, ne vom referi în continuare la două exemple.

6.2.1. Reconstituirea paleotemperaturilor

Procesele de evaporare și condensare ale apei conduc la efecte de fracționare, de exemplu, raportul $^{18}O/^{16}O$ dintre forma lichidă și cea gazoasă a apei diferă cu câteva părți per million (ppm). Molecula mai grea, $H_2{}^{18}O$, se condensează mai ușor în picăturile de ploaie decât molecula mai ușoară $H_2{}^{16}O$. Efectul de fracționare este cu atât mai mare, cu cât temperatura este mai mică. Compararea lui $\delta^{18}O$ (deviația relativă a raportului $^{18}O/^{16}O$ pentru eșantioane, față de raportul $^{18}O/^{16}O$ pentru apa oceanului) a apei de ploaie cu temperatura anuală medie, T, în diferite locuri, prezintă o dependență lineară [8]:

$$\delta^{18}O = (0,67 \pm 0,02).T - (13,7 \pm 0,5).\ 10^{-3}$$

Aplicând această relație valorilor lui $\delta^{18}O$ determinate prin SM convențională, în miezul gheții polare, se poate reconstrui temperatura din ultimii 200.000 ani.

6.2.2. Variabilitatea radiației solare

Conform modelului solar standard, generarea căldurii printr-un proces de fuziune termonucleară, din centrul Soarelui, este extrem de constantă, cu o tendință de creștere, de câteva procente, într-un interval de timp de 10Ma [9]. Măsurătorile efectuate cu ajutorul sateliților din ultimii 15 ani, arată însă o variație clară a radianței solare, de ~ 1 %, în fază cu ciclul petelor solare (ciclul "Schwabe") [10]. Astfel de fluctuații ale energiei solare pot fi produse ușor prin intermediul proceselor de turbulență și magneto-hidrodinamice din interiorul zonei convective a Soarelui. Dacă această relație dintre activitatea solară și radianță se menține adevărată, atunci ne putem aștepta să găsim o corelație între temperatura medie și activitatea solară. Din păcate, înregistrările directe legate de activitatea solară sunt încă insuficiente, iar calitatea datelor mai vechi de ~ 350 ani, îndoielnică. Cele mai multe înregistrări de până acum sunt legate de petele solare, acestea efectuându-se regulat începând cu secolul XVII. Pentru perioade mai lungi, trebuie să ne bazăm pe parametri indirecți, cum sunt izotopii cosmogeni, ca ^{10}Be. Acest izotop este produs prin reacții de spalație induse de radiația cosmică în atmosferă și este eliminat din aceasta prin precipitații, după un timp de rezidență de ~ 1,5 ani. Rata de producție a ^{10}Be este modulată de activitatea solară. În perioadele cu activitate mare, proprietățile magnetice ale vântului solar ecranează particulele din radiația cosmică de energie joasă, reducând astfel rata de producție a ^{10}Be în atmosferă. Prin analiza concentrației ^{10}Be din eșantioanele de gheață, utilizând tehnica SMA (tipic de 10^7 atomi/kg), se poate stabili istoria acestei producții și reconstitui astfel activitatea solară.

6.3. Pânza freatică

Vârstele, vitezele de scurgere, procesele de amestecare sau salinificare, precum și alte proprietăți ale apelor subterane pot fi determinate prin măsurarea concentrațiilor de elemente stabile și radionuclizi din aceste ape. Radionuclidul utilizat pentru datarea pânzelor freatice foarte vechi este ^{36}Cl. Două dintre cele mai studiate acvifere sunt Great Artesia Basin din Australia [11] și Milk River din Canada [12-14]. În acviferul Milk River, concentrația clorurii, în lungul a două direcții, crește aproximativ linear cu distanța de la sursa de realimentare, prezentând, în ipoteza unei viteze de scurgere constante, o dependență lineară între timpul de realimentare, distanța de la sursa de realimentare și concentrațiile de cloruri. Din scăderea concentrațiilor ^{36}Cl cu un ordin de mărime, se poate obține o valoare de ~ 10^6 ani la finele acviferului. Viteza de scurgere a nisipului este de numai 4 - 11 cm/an. O vârstă similară s-a obținut și pentru Great Artesian Basin.

6.4. Sedimentele de pe fundul mărilor

Sedimentele marine oferă cele mai multe înregistrări geologice relativ la producția nuclizilor cosmogeni în funcție de timp. Aceste înregistrări pot fi utilizate fie pentru datarea sedimentelor, fie pentru studiul variațiilor celor trei parametri care controlează intensitatea radiației cosmice în atmosfera Pământului și anume: a) intensitatea radiației cosmice primare (de exemplu, explozia supernovei în vecinătatea sistemului solar); b) activitatea solară (§ 6.2.2) și c) intensitatea câmpului geomagnetic (de exemplu, inversiunea geomagnetică).

6.5. Măsurarea ^{129}I în ocean

În era prenucleară, concentrația ^{129}I (T = 16 ani) în ocean a fost de ~ 3 x 10^5 atomi/litru. Input-ul acestui izotop, rezultat ca urmare a testelor nucleare, în cantități de ordinul a ~ 2 x 10^{26} atomi, a crescut concentrația sa în apa de suprafață a oceanului, la valoarea de ~ 3 x 10^7 atomi/litru. Pe baza măsurătorilor efectuate asupra unor eșantioane de alge arhivate, împreună cu datele disponibile, s-a putut estima input-ul acestui izotop în ocean, provenit de la instalațiile de reprocesare a combustibilului nuclear de la

La Hague (Franța) şi Sellafield (Marea Britanie) în ultimii 25 de ani, la ~ 5 x 10^{27} atomi, sau 1,2 tone de ^{129}I. Majoritatea din acest izotop a fost transportat pe linia de coastă a Europei de Vest, Nordul Oceanului Atlantic şi Oceanul Arctic.

Tehnica SMA permite măsurarea a 10^6 atomi de ^{129}I, oferind astfel o metodă extrem de sensibilă de urmărire a acestui izotop în ocean. S-a arătat de exemplu, că se poate detecta semnalul provenit de la o instalație de reprocesare, virtual din orice loc din Nordul Oceanului Atlantic, utilizând un eşantion de numai 1 litru de apă de mare. De asemenea, este posibilă utilizarea acestui izotop pentru urmărirea altor posibile descărcări intenționate sau accidentale de produşi de fisiune în ocean. Faptul că raportul ^{129}I/^{137}Cs determinat pentru instalațiile de reprocesare a combustibilului nuclear este cu mult mai mare decât cel rezultat din precipitațiile în urma testelor nucleare, al accidentului de la Chernobyl sau al altor deşeuri neprocesate, face ca el să poată constitui o "amprentă" incontestabilă pentru distingerea între aceste surse potențiale, diferite, de observare a radioactivității în ocean.

SMA este, de asemenea, utilă pentru monitorizarea ^{139}I în produşii deşeurilor nucleare şi pentru testarea unor posibile scurgeri din depozitele de deşeuri radioactive.

6.6. Aplicațiile tehnicii PIXE

Tehnica PIXE are un caracter multielement, cu o sensibilitate mai degrabă uniformă şi înaltă pentru întregul sistem periodic al elementelor, chiar şi în cazul microeşantioanelor. Nu este distructivă şi nu necesită prelucrări pentru eşantioanele solide sau sub formă de pulbere. Poate fi operată automat şi simultan cu alte tehnici nucleare. Analizele de rutină necesită numai câteva minute de iradiere.

6.6.1. Aerosolii atmosferici

Prin impactul lor asupra mediului (de exemplu: rol catalitic, depunere, poluare, modificări de vizibilitate şi de climat global), particulele de aerosoli joacă un rol important într-o serie de procese fundamentale ce guvernează fizica şi chimia atmosferei. Proprietățile fizice şi chimice ale particulelor de aerosoli conțin într-adevăr "amprentele" sursei sau reacției din care provin. Particulele de aerosoli au probabil un timp de rezidență lung şi sunt supuse proceselor de dispersie şi transport. Seturile mari de date asupra concentrațiilor elementale permit aplicarea modelelor - receptor. Pentru studiile legate de transportul aerosolilor la scală mare şi regională, deosebit de eficace este caracterizarea elementală detaliată în timp, a unor serii de eşantioane de aerosoli, combinată cu parametrii meteorologici. În cadrul lor se integrează: studiile asupra aerosolilor din zonele îndepărtate, transportul aerosolilor pe distanțe regionale şi mai mari, caracterizarea aerosolilor fini la scală globală, pentru evaluarea modificărilor de climat şi a opticii atmosferei.

6.6.2. Comportarea elementelor în urme în ciclul combustiei cărbunelui

Determinarea compoziției elementale a cărbunelui părinte şi a diferiților produşi de combustie este de mare interes pentru elucidarea partiției elementelor majore, minore şi în urme, legată de combustie şi epuizare. Această operație este asigurată de instalațiile de control ale termocentralei.

În afara relevanței acestor date din punct de vedere al mediului, caracterizarea drumului diferitelor elemente în ciclul de combustie, inclusiv combustia însăşi şi cenuşa, este esențială pentru înțelegerea, cuantificarea şi îmbunătățirea mecanismelor de precipitare ale cenuşii. Prin analiza cărbunelui şi colectarea cenuşii la intrarea şi ieşirea precipitatoarelor electrostatice ale termocentralei, se pot determina factorii de îmbogățire şi de penetrare pentru elementele majore şi în urme, elucidând astfel comportamentul diferit al elementelor, în acord cu proprietățile fizico-chimice ale particulelor cenuşii, cu care sunt asociate, precum şi dependența lor de condițiile de operare ale instalației [15].

6.7. Cercetarea radiometrică a nisipurilor

Cercetarea radiometrică a nisipurilor utilizează ocurența intensificată a radionuclizilor naturali în minerale. Aceşti nuclizi sunt încorporați în structura cristalină şi constituie o caracteristică pentru formarea rocii originale şi condițiile de formare. Pentru identificarea regiunilor cu nisipuri de coastă de diferite proveniențe, a fost utilizată o metodă cu amprente radiometrice. De exemplu, în lungul coastelor olandeze, au fost observate două regiuni, cu nisipuri ce prezintă o diferență în concentrațiile de U şi Th, de două ordine de mărime [16]. Nisipul din regiunea de Sud corespunde sedimentelor alpine depozitate de fluviul Rhin. Pe baza densității urmelor de fisiune din cristalele de zircon, s-a dedus că nisipul din regiunea de Nord provine din Erzgebirge. Această regiune se extinde până la Eiderstedt în Schleswig-Holtstein. O a treia regiune s-a găsit între Eiderstedt şi insula Sylt şi în lungul coastei mării Baltice, lângă Travemünde. A patra regiune a fost identificată în nordul insulei Römö. Liniile de graniță net delimitate între unele din aceste regiuni indică bariere în transportul nisipului de litoral.

În afară de utilizarea lor în metoda amprentelor, mineralele grele de natură radiogenă reprezintă şi un instrument de datare a sedimentelor prin metoda termoluminiscenței, în vederea studiului proceselor de transport selectiv pe fundul mării, în legătură cu dinamica din zona de coastă şi pentru activități de explorare şi minerit.

6.8. Cercetări asupra radonului

În seria de dezintegrare a ^{238}U se crează radionuclidul radon, ^{222}Rn, care este un gaz nobil. În imobile, ^{222}Rn poate contribui la o doză de iradiere considerabilă, pe care o primim pe cale naturală. Monitorarea ^{222}Rn se poate face prin intermediul radioactivității sale. Radonul apare în toate materialele terestre şi în produşii derivați din acestea. Fiind generat prin dezintegrarea ^{226}Ra în granulele minerale, el se colectează în spațiul porilor, este absorbit în aer sau apă din pori sau pe pereții granulelor înconjurătoare. Deşi pentru transportul radonului, faza din aer este dominantă, schimbul dintre radon în diferite faze joacă un rol important şi complică descrierea proceselor de transport. Pentru a stabili modele ce descriu generarea şi transportul radonu-

lui prin mai multe faze, prin difuzie şi scurgeri advective, se utilizează două instalaţii de laborator: un vas de radon umplut cu nisip şi o boxă ce conţine cărămizi din material de construcţie, ambele în condiţii controlate diferite.

7. PERSPECTIVE

Sensibilitatea înaltă şi precizia metodelor de detecţie, îmbunătăţirile efectuate pe parcurs şi extinderea acestor metode, de exemplu la utilizarea radionuclizilor de viaţă lungă ai gazelor rare [17], vor permite o lărgire şi o aprofundare a studiilor în domeniul mediului şi al protecţiei. Multe dintre procese, relevante pentru acest domeniu, pot fi studiate cu ajutorul metodei trasorilor. Cercetarea detaliată a arhivelor va permite stabilirea proprietăţilor Pământului şi Soarelui (ca paleoclimatul, activitatea solară şi iradianţa) din perioada ultimului milion de ani. Combinate cu noile observaţii din sateliţi şi cu arhivele noi, cunoaşterea mediului din trecut ne va ajuta la o mai bună înţelegere a acestuia, acum şi în viitor.

8. REZUMAT

Sensibilitatea înaltă şi precizia tehnicilor nucleare de analiză fac ca acestea să constituie un puternic instrument în ştiinţa mediului. Principalele metode utilizate sunt: detecţia elementelor în urme, datarea şi fracţionarea izotopică. În multe cazuri, metodele implică măsurarea unor cantităţi infime de izotopi stabili sau radioactivi de viaţă lungă, cu ajutorul spectrometrelor de masă de joasă energie cu accelerator (SMA) sau alte tehnici. Aplicaţiile majore includ: studiul schimbărilor climatice globale, proprietăţile pânzei freatice şi măsurătorile de radioactivitate naturală sau artificială.

Variaţiile pe termen lung şi scurt ale temperaturii şi corelarea acestora cu erupţiile solare şi respectiv variaţiile parametrilor orbitali ai Pământului, prezintă un interes fundamental şi servesc la judecarea efectelor presupuselor gaze de seră.

Măsurătorile efectuate cu ajutorul spectrometriei de masă ale raportului $^{18}O/^{16}O$ în gheaţa polară permit reconstituirea variaţiilor pe termen lung ale temperaturii (care a fost de câteva grade în ultimii 200.000 ani). Variaţiile pe termen scurt asupra ultimilor câteva sute de ani şi corelarea lor cu activitatea erupţiilor solare au putut fi deduse din variaţiile în abundenţa ^{10}Be, măsurate cu SMA, în Gröenlanda.

Pânza freatică reprezintă o sursă majoră de apă potabilă. Din acest motiv este deosebit de importantă cunoaşterea proprietăţilor sale ca: vârsta, originea, debitul şi compoziţia elementală. Proprietăţile pânzelor freatice foarte vechi au fost determinate prin măsurarea concentraţiei radionuclidului ^{36}Cl cu metoda SMA.

Măsurătorile de radioactivităţi foarte slabe, α, β şi γ în mediile biologice permit efectuarea unor estimări legate de pericolele pentru sănătatea populaţiei, datorate radiaţiilor. Un caz foarte cunoscut este cel al gazului nobil radioactiv, ^{222}Rn care este un produs de dezintegrare al ^{238}U şi care poate contribui major la doza de iradiere din locuinţe. O creştere a radioactivităţii mai poate apare şi în cazul unui accident nuclear. Câteva ţări dispun deja de un sistem de alarmare ce constă dintr-o reţea de staţii care monitorizează în mod continuu radioactivitatea din mediul ambiant.

Bibliografie

1. E. Nolte, J. Beer, W. Kutschera, G. Marcazzan, R. J. de Meijer, P. Nolan, G. Raisbeck, W. Breunlich: Environmental Studies and Protection, în: "Impact and Applications of Nuclear Science in Europe: Opportunities and Perspectives", p. 87-96, NuPECC, Dec. 1994.
2. G. Văsaru, C. Cosma: Geocronologie nucleară – Metode de datare prin fenomene nucleare naturale, (350 p.), Ed. Dacia, Cluj-Napoca, 1998.
3. D. Lal, B. Peters: Cosmic Ray Produced Radioactivity on the Earth, Handbuch für Physik, ed. S. Flugge, 46/2, 551 – 612, 1967.
4. G. Rudstam: Systematic of Spallation Yields, Z. Naturforsch., 21a, 1027 – 1041, 1966.
5. R. Silberberg, C. H. Tsao: Spallation Processes and Nuclear Interaction Products of Cosmic Rays, Phys. Reports 191, 351 – 408, 1990.
6. H. A. Synal et al.: Atmospheric Transport of Bomb-Produced ^{36}Cl, Nucl.Instr. Meth. B52, 483 – 488, 1990.
7. E. Strack et al.: Determination of Erosion Rate with Cosmogenic ^{26}Al, Nucl. Instr. Meth. B, 1994.
8. W. Dansgaard et al.: Stable Isotope Glaciology, Medd. Groenland, 197, 2, 5 – 53, 1973.
9. S. Turck-Chièze et al.: Revisiting the Standard Solar Model, Astrophys. J. 335, 415 ¬ 424, 1988.
10. R. C. Wilson, H. S. Hudson: Solar Luminosity Variations in Solar Cycle 21, Nature 332, 810 ¬ 812, 1988.
11. H. W. Bentley et al.: Chlorine-36 Dating of Very Old Groundwaters 1: The Great Artesian Basin, Australia, Water Resources Res. 22, 1991 – 2001, 1986.
12. F. M. Philips et al.: Chlorine-36 Dating of Very Old Groundwater 2. Milk River Aquifer Alberta, Canada, Water Resources Res. 22, 2003 – 2016, 1986.
13. M. J. Hendry, F. W. Schwartz: An Alternative View of the Origin of Chemical and Isotop Patterns in Groundwater from the Milk River Aquifer, Canada. Water Resources Res. 24, 1747 – 1763, 1988.
14. E Nolte et al.: Measurements and Interpretation of ^{36}Cl in Groundwater, Milk River Aquifer, Canada. Appl. Geochem. 6, 435 – 445, 1991.
15. B. Bellagamba et al.: PIXE Applications to the Study of Trace Elements Behaviour in Coal Combustion Cycle, Nucl. Inst. and Meth., B75, 222 – 229, 1993.
16. R. J. de Meijer et al.: Nucl. Geophys. 4, 455 ¬ 460, 1990.
17. W. Dansgaard et al.: Evidence for general Instability of past climate from 250 kyr ice-core record. Nature, 364, 218, 1993.

Dr. Gheorghe VĂSARU
gvasaru@hotmail.com

Physics Web

Rubrică îngrijită de Mircea Morariu

Senzor de presiune miniatural

Cercetători din Japonia au construit un senzor miniatural care poate măsura diferențele de presiune pe o aripă de fluture, contribuind astfel la o mai bună înțelegere a dinamicii zborului insectelor. Grupul speră să studieze diferitele presiuni care acționează asupra aripei în timpul decolării, lucru care nu a mai fost măsurat înainte. Realizarea va contribui la construirea aparatelor de zbor robotice de dimensiunea insectelor sau la dezvoltarea aripilor artificiale. Manevrele aparent imposibile pe care insectele le realizează în timpul zborului, cum ar fi întoarcerile în zbor și întoarcerile brusce care sunt foarte dificile pentru păsări, sunt de mare interes pentru cercetători. Multe dintre insectele cu aripi posedă un tip de aripă unică care le permite să urce în zigzag cu o frecvență coborâtă a bătăilor de aripi. Hidetoshi Takahashi de la Universitatea din Tokyo, conducătorul grupului de cercetare, a arătat că, în conformitate cu aerodinamica convențională, forța estimată generată de o aripă a insectei în zbor ar fi insuficientă pentru a suporta greutatea corpului ei. Acest lucru înseamnă că forța aerodinamică reală a aripei insectei depășește pe cea observată în aerodinamica rigidă, unde există forțe egal distribuite care acționează de-a curmezișul suprafeței, făcând-o mai asemănătoare cu „fenomenele aerodinamice inconstante" care intră în joc. Acesta este motivul pentru care cercetătorii au încercat să lămurească mecanismul din spatele acestei forțe inconstante.

Tehnica de măsurare a rigidității fără atingere

Două grupuri de cercetători din Franța au măsurat rigiditatea unui material fără a-l atinge. Metoda include o cantitate infimă de fluid ce curge peste suprafața materialului și este non-invazivă și non-distructivă. Tehnica ar putea fi utilizată pentru a ajunge la analiza la scară nanometrică a proprietăților elastice ale filmelor subțiri sau obiectelor fragile, cum ar fi baloanele și celulele vii. O cale simplă de a măsura rigiditatea unui corp este de a-l atinge cu un obiect care este mai tare decât el. Problema care se ridică cu această tehnică este că obiectul „probă" mai tare poate distruge obiectul de interes, în special dacă ultimul este extrem de fragil, cum ar fi celula vie. Căutarea unei metode mai puțin distructive a constituit obiectul celor două grupuri, unul incluzându-l pe Samuel Leroy și colegii de la *Laboratoire de Physique de la Matière Condensée et des Nanostructures in Lyon* iar celălalt incluzându-l pe Frédéric Restagno și colegii de la *Laboratoire de Physique des Solides in Paris*. Cu o idee originală, fizicienii au măsurat starea de rigiditate suflând pe un obiect un jet de aer și măsurând deformația care apare. Deoarece au constatat că este dificil de controlat jetul de aer din cauza vortexurilor care se formează, au trecut la ideea de a utiliza un minuscul „nanojet" de fluid, care este mult mai ușor de controlat și care a fost creat pe baza unei tehnici realizate de către Leroy în anul 2000.

Memorii cuantice de stare solidă

Două grupuri independente de fizicieni au creat memorii cuantice, bazate pe spinul nuclear, care împing limitele modului în care informația cuantică lungă poate fi stocată în dispozitive de stare solidă. Un dispozitiv, bazat pe un cristal dopat de siliciu-28 ultrapur, este capabil să stocheze date timp de mai mult de 3 minute. Cealaltă memorie, bazată pe vacanțe de azot, este un cristal de diamant de carbon-12 izotopic pur, care a atins un timp de stocare de 1,4 s. Deși ultimul dispozitiv nu pare să fie așa impresionant, memoria cu diamant lucrează la temperatura camerei, în timp ce acela cu siliciu trebuie să fie răcit la o temperatură sub 2 K. Noua memorie cu siliciu a fost realizată de către Mike Thewalt și colegii de la *Simon Fraser University* in Vancouver, Canada, *și Oxford University,* UK. Ei au lucrat alături de fizicieni de la *PTB standards lab, the Leibniz Institute for Crystallography and Vitcon Projectconsult*, toți din Germania, pentru a crea o memorie bazată pe spinul nuclear a unui nucleu de fosfor-31 învelit în siliciu. Memoria cu diamant a fost creată la *Harvard University* din SUA de către Mikhail Lukin și grupul său, cu ajutor de la fizicieni de la *California Institute of Technology*, SUA și *Max Planck Institute for Quantum Optics* in Garching, Germania. Dispozitivul lor utilizează un spin nuclear de carbon-13 lângă o vacanță de azot din diamant furnizat de *Luxembourg-based firm Element Six*. Siliciul-28 și carbonul-12 au fost alese deoarece ambele nuclee au spinul nuclear zero și deci nu vor interacționa cu spinii nucleari ai fosforului-31 și carbonului-13, un proces ce conduce la decoerență.

Plasmoni magnetici ghidați

Cercetători din SUA au realizat ghiduri de undă pentru plasmoni magnetici din molecule organice "topite". Structurile permit plasmonilor magnetici să fie transmiși și focalizați în moduri în care acest lucru nu este posibil cu plasmonii electronici convenționali. Oamenii de știință afirmă că astfel s-ar obține o nouă familie de dispozitive fotonice la scară nanometrică. În mod normal, lumina nu poate fi focalizată la un spot mai mic decât jumătate din lungimea sa de undă, adică circa 300 nm pentru lumina vizibilă. În ultimii ani, oamenii de știință au obținut succese, focalizând lumina spre distanțe nanometrice, cuplând-o la plasmonii care au loc pe suprafețele nanostructurilor metalice. Acești plasmoni de suprafață sunt excitații colective ale electronilor de conducție metalici și ei se cuplează cu lumina pentru a crea polaritoni plasmonici de suprafață, care sunt asemănători luminii, dar au lungimi de undă mult mai scurte. Polaritonii plasmonici de suprafață stau la baza tehnologiei numite "nanoplasmonică", care se concentrează pe utilizarea nanostructurilor metalice pentru dezvoltarea dispozitivelor optoelectronice miniaturale. Naomi Halas

și colegii de la *Rice University* in Houston s-au focalizat asupra plasmonilor magnetici, care sunt formați atunci când electronii oscilează într-o manieră circulară pentru a crea un moment magnetic. Acest lucru îi diferențiază de plasmonii convenționali. Cercetătorii au constatat că plasmonii magnetici se pot propaga pe distanțe de câțiva micrometri în lungul unui lanț conjugat de molecule aromatice artificiale numite heptameri. Aceasta este mult mai rapid față de plasmonii electronici convenționali, care pot traversa doar câteva sute de nanometri în lungul lanțului liniar de nanoparticule metalice.

O nouă teorie fononică a termodinamicii lichidelor

Fizicieni din Regatul Unit și Rusia au reînviat conceptele din anii 1940 pentru a dezvolta o nouă teorie a capacității calorice a lichidelor. Creată de către Dima Bolmatov și Kostya Trachenko de la *Queen Mary, University of London* și Vadim Brazhkin de la *Institute for High Pressure Physics in Moscow*, noua teorie fononică a termodinamicii lichidelor a prezis cu succes capacitatea calorică a 21 de lichide diferite, de la metale la lichide moleculare. Cercetătorii afirmă că teoria acoperă ambele regimuri: clasic și cuantic. De asemenea, ea este în acord cu experimentul, pe un domeniu larg de temperaturi și presiuni.

Senzor de câmp magnetic

Fizicieni din Australia, Germania şi SUA au realizat un nou tip de senzor de câmp magnetic, uşor de făcut şi cu precizie mare. Dispozitivul poate detecta câmpuri de 1-340 mT şi deşi nu este cel mai sensibil în acest domeniu, are avantajul că nu trebuie răcit la temperaturi ultrajoase şi nici nu trebuie recalibrat. Dispozitivul este creația unui grup condus de Christoph Boehme de la *University of Utah*, împreună cu colegi de la universitățile din Sydney şi Regensburg. Inima lui o constituie un strat subțire de semiconductor organic pus între două contacte metalice. Când este aplicată o tensiune între contacte, electronii şi găurile sunt injectate în semiconductor. Fiind particule încărcate, electronii şi găurile induc fiecare o mică polarizare electrică locală a semiconductorului, ce urmăreşte particulele ce trec prin material. Cheia modului în care operează dispozitivul constă în faptul că aplicarea unui câmp magnetic extern crează o bandă interzisă de energie între spinii orientați paralel şi cei orientați antiparalel la câmp. Astfel, dacă este aplicat un semnal de radiofrecvență, de o energie precis determinată, la film, spinii flipează în sus şi în jos, cauzând o schimbare bruscă a rezistenței semiconductorului. Deoarece această energie de rezonanță este o funcție liniară de intensitatea câmpului magnetic, câmpul poate fi măsurat prin modificarea energiei de radiofrecvență până se atinge rezonanța.

Grafenul detectează lumina

Cercetători din SUA au dezvăluit un nou mod de utilizare a grafenului pentru a detecta lumina. Bolometrul grupului bazat pe grafen lucrează în infraroşu şi deşi prima versiune a dispozitivului trebuie răcit la temperaturi foarte joase, cercetătorii afirmă că modelele mai noi ar putea lucra la temperatura camerei. Aceste dispozitive şi-ar putea găsi aplicații într-un domeniu larg de arii de interes, incluzând ecranele de securitate din aeroporturi, imagini medicale şi astronomia radio de terahertzi. Schemele anterioare pentru utilizarea grafenului pentru detectarea luminii au fost în majoritate focalizate pe efecte fotoelectrice şi termoelectrice, prin care lumina şi respectiv temperatura se diferențiază, care sunt convertite în semnale electrice. Prin contrast, bolometrul este un instrument care absoarbe lumina şi o transformă în căldură. Această căldură afectează rezistența electrică a materialului absorbant şi această schimbare este măsurată.

Aparat foto de un gigapixel

Cercetători din SUA au dezvăluit realizarea unui aparat foto de 1 gigapixel, care are de cinci ori mai mulți pixeli decât cel mai profesional aparat foto digital la zi, şi de aproape 100 de ori mai mulți pixeli decât un aparat foto comercial compact. Mai mult, aparatul foto are o apertură mult mai mică decât alte dispozitive cu gigapixel.

Debutul electronicii hidrogelului

Cercetători de la *Universitatea Stanford* din SUA au realizat un nou tip de hidrogel pentru electrozi şi senzori la stocarea energiei de înaltă performanță. Ei au folosit conducția polianilinei polimerice pentru a realiza un material nanostructurat care are excelente proprietăți electronice şi electrochimice. Hidrogelurile sunt rețele de polimeri 3D care pot conține o mare cantitate de apă şi au o structură similară cu cea a țesutului biologic. Majoritatea hidrogelurilor se bazează pe matrici de polimer neconductoare care limitează aplicațiile în electronică. Cercetătorii, conduşi de Zhenan Bao şi Yi Cui, au utilizat acid fitic care este un bun conductor ionic pentru a dopa şi lega încrucişat polianilina polimerică în efortul de a contracara acest neajuns.

Doturi cuantice în grafen

Fizicieni din SUA au realizat doturi cuantice în grafen prin simpla introducere a unei deformații în material. Creând structuri minuscule în aşa fel încât grafenul este întins ca un timpan, cercetătorii afirmă că sunt primii care arată că purtătorii de sarcină pot fi reținuți în interiorul materialului prin deformarea lui. Rezultatele ar putea fi utilizate la dezvoltarea dispozitivelor electronice bazate pe grafen, cum ar fi tranzistoarele şi componentele optoelectronice. Recent, Joseph Stroscio de la NIST din Gaithersburg, Maryland şi colegii au modificat proprietățile electrice ale grafenului printr-o simplă deformare a materialului. Cercetătorii afirmă că deformarea grafenului pare a avea acelaşi efect ca şi aplicarea unui câmp magnetic puternic şi poate produce doturi cuantice în material. Doturile cuantice sunt structuri minuscule semiconductoare în care electronii sunt reținuți în toate cele trei dimensiuni. Această reținere este cea care dă doturilor cuantice caracteristici electronice şi optoelec-

tronice unice, care pot fi adesea reglate fin prin ajustarea dimensiunii structurii. Abilitatea de a crea regiuni semiconductoare în grafen, în acest mod, ar putea constitui o cale pentru realizarea dispozitivelor, care oferă atât mobilitate electronică mare, cât şi o bandă interzisă.

Un nou tip de sticlă texturată

Cercetători din SUA au realizat un nou tip de sticlă texturată, despre care afirmă că este fără strălucire și ar putea să fie sau cu auto-curățare sau cu anti-aburire. Suprafața materialului, descrisă ca sticlă „multifuncțională", are un aranjament nanotexturat de trăsături conice, care este acoperit de un înveliș tensioactiv, dând sticlei proprietățile sale dorite. Cercetătorii speră ca în viitor sticla să poată fi fabricată ieftin, astfel încât să fie utilizată în dispozitive optice, cum ar fi ecranele telefoanelor mobile sau televizoare, paneluri solare, parbrizele mașinilor sau chiar ferestrele clădirilor. Suprafața sticlei constă din conuri minuscule care sunt de cinci ori mai înalte decât lățimea bazei lor de 200 nm. Cercetătorii, conduși de către George Barbastathis şi colegii de la *Massachusetts Institute of Technology* din SUA, au fabricat sticla utilizând tehnici de gravare şi acoperire adaptate din industria semiconductorilor.

Din nou despre lipsa siliciului în mantaua Pământului

Cercetători din Japonia vin cu o nouă dovadă că mantaua inferioară a Pământului conține mai mult siliciu decât mantaua sa superioară. Rezultatele sugerează că compoziția silicaților Pământului este de același tip cu a meteoriților care existau în nebuloasa solară din care Pământul a fost creat. Majoritatea geologilor sunt de acord că mantaua superioară este compusă în principal din peridotită, o rocă vulcanică densă care conține o mare proporție de mineral de olivină. La zona de tranziție, o schimbare a propagării undelor seismice a fost explicată în general printr-o tranziție de fază în structura olivinei, sugerând că mantaua inferioară este compusă, de asemenea, din peridotită. Oricum, Pământul ar conține mult mai puțin siliciu decât meteoriții chondritici, tipul de meteoriți care se crede că existau la momentul formării Pământului. Recent, geofizicianul Motohiko Murakami de la *Tohoku University in Sendai* şi colegii afirmă că au rezolvat problema lipsei siliciului, prin faptul că mantaua inferioară conține mai mult siliciu decât mantaua superioară, lucru ce este în concordanță cu formarea Pământului din meteoriți chondritici.

Precizie de yoctogram

Cercetători din Spania (Adrian Bachtold şi colegii de la *Catalan Institute of Technology in Barcelona*) au realizat pentru prima dată cel mai sensibil senzor de masă. Capabil să cântărească un singur proton, care are masa de 1,7 yoctograme sau circa 10^{-24} g, dispozitivul este realizat dintr-un nanotub de carbon suspendat. Senzorul ar putea fi utilizat pentru a detecta molecule singulare sau pentru a studia reacțiile chimice în direct sau ar putea chiar pătrunde în fundamentele mecanicii cuantice. Nanotubul de carbon suspendat, de 150 nm lungime şi 2 nm în diametru, rezonează la frecvența de 2 GHz. În funcție de greutatea particulei de cântărit, frecvența de rezonanță se modifică şi această deplasare poate fi folosită pentru a calcula masa particulei.

Geofizicienii despre creşterea nivelului mărilor

Luând în considerare o „amprentă digitală" unică a nivelului mării creată de topirea unui strat de gheață, un grup de geofizicieni din America de Nord au pus la punct o nouă metodă pentru fixarea punctuală a surselor de creștere globală a nivelului mărilor. Abordarea lor ar putea furniza un nou mod de a măsura impactul straturilor de gheață din Groenlanda și Antarctica Vestică, cele mai mari surse de incertitudine a proiectelor viitoarelor schimbări ale nivelului mărilor. Metoda, dezvoltată de către Carling Hay de la *Universitatea din Toronto* și colegii de la *Universitatea Harvard*, împreună cu geofizicieni de la *Universitatea Rutgers* din Canada și SUA, este una statistică și utilizează un algoritm cunoscut ca filtrul Kalman, care se potrivește foarte bine pentru analiza schimbării nivelului mărilor.

Strălucirea qasarilor şi distanțele cosmice

Un grup internațional de oameni de știință a pus la punct o metodă pentru a determina distanța până la oricare qasar din Univers. Acest lucru ar putea permite ca qasarii să fie utilizați ca puncte standard. Cercetătorii au găsit figuri caracteristice ale luminii emise de către un grup de qasari și afirmă că aceste regularități sunt legate direct de deplasarea spre roșu a qasarilor. Acest lucru le permite să deducă cu precizie deplasarea spre roșu necunoscută a unui qasar din deplasarea spre roșu cunoscută pentru altul. Dejan Stojkovic de la *State University of New York at Buffalo*, SUA și colegii au constatat că, utilizând curbele de lumină pentru a calcula deplasarea spre roșu a unui qasar, independent de relația luminozitate-distanță, le-ar putea permite qasarilor să fie utilizați ca puncte standard.

Construirea nanomagneților atom cu atom

Fizicieni din Germania conduși de Roland Wiesendanger de la *Hamburg University*, incluzând și oameni de știință de la *The Institute for Advanced Simulation in Jülich*, au pus la punct o nouă tehnică pentru realizarea magneților minusculi, care include strângerea și plasarea atomilor individuali de fier, utilizând un microscop cu vârf. Magneții de dimensiuni nanometrice pot fi realizați într-o gamă largă de diferite forme, în timp ce același microscop cu vârf poate fi, de asemenea, utilizat pentru a măsura proprietățile lor magnetice.

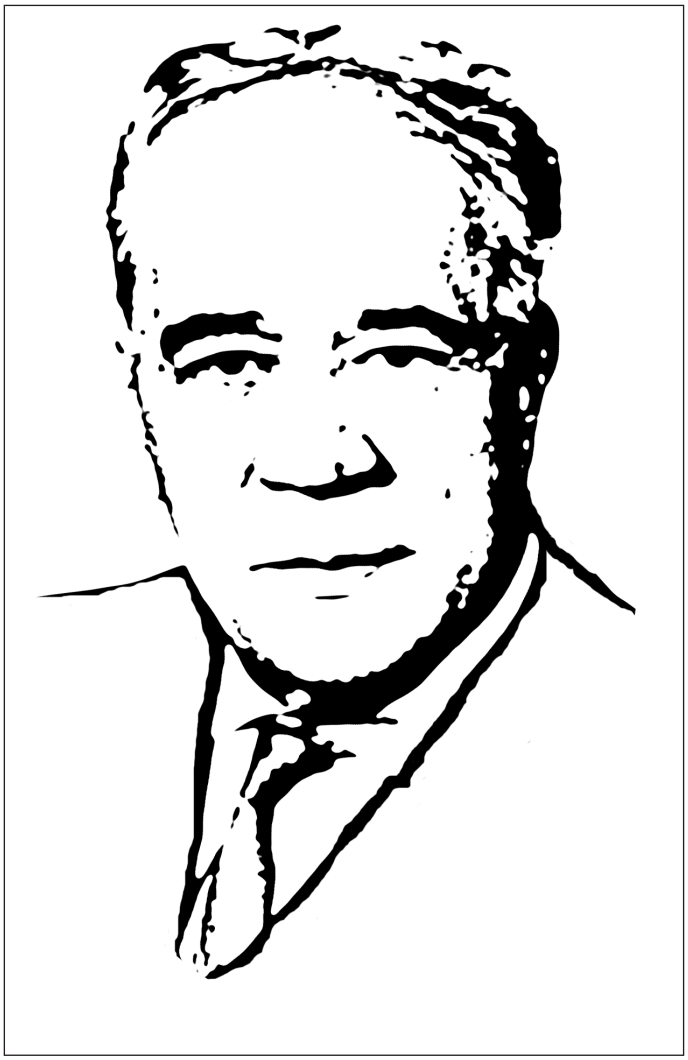
Errata

În CdF nr. 72 la rubrica Physics Web la „Neutronii și principiul de incertitudine al lui Heisenberg" la ultima frază în loc de *„...trebuie să fie mai mic..."* se va citi *„... trebuie să nu fie mai mic..."*.

In memoriam

Profesorul **Horia Hulubei** s-a stins din viață la București, la 22 noiembrie 1972, lăsând în memoria posterității amintirea unui pilduitor creator de școală, întemeietor de instituții și animator de cultură. Astăzi, Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară îi poartă numele.

- Academia Română și Fundația „Horia Hulubei" au programat o slujbă de pomenire la mormântul profesorului în 22 noiembrie 2012, orele 11, la Cimitirul Bellu.
- Slujba de pomenire la biserică a avut loc sâmbătă, 24 noiembrie, ora 9, la Paraclisul Patriarhal - Biserica „Sf. Spiridon Nou".
  Din partea Fundației „Horia Hulubei" s-au ocupat de organizare Liliana MICU (președinta fundației), Mihail BĂLĂNESCU (fost director tehnic IFA) și Radu HOMESCU.
- În ziua de 7 decembrie Academia Română a organizat o Sesiune omagială, la orele 11 în aulă.



Semnalăm apariția celei de-a doua ediții a cărții „Mărturiile unui luptător" de Nicolae Peneș (edit graf, Buzău, 2012). Cartea este rezultatul convorbirilor dintre autor și dr. Mihail Bălănescu; se pot găsi multe amănunte despre viața și activitatea științifică a profesorului Horia Hulubei.

Am dori ca în primul număr al ***Curierului de Fizică*** de anul viitor să includem cât mai multe articole dedicate memoriei profesorului Horia Hulubei. Așteptăm contribuțiile cititorilor noștri.

Fundația „Horia Hulubei" și Societatea Română de Fizică

La închiderea ediţiei CdF numărul 73 (decembrie 2012) – numărul de față – are data de închidere a ediției la 6 decembrie 2012. Numărul anterior, 72 (mai 2012), a fost tipărit între 24 și 25 mai 2012. Pachetele cu revista au fost trimise difuzorilor voluntari ai FHH și SRF pe data de 29 mai 2012.
Numărul următor este programat pentru luna aprilie 2013.

EDITURA HORIA HULUBEI ***Editură nonprofit încorporată Fundației Horia Hulubei.***
Fundația Horia Hulubei este organizație neguvernamentală, nonprofit și nonadvocacy,
înființată în 4 septembrie 1992 și persoană juridică din 14 martie 1994. Codul fiscal 9164783 din 17 februarie 1997.
Cont la BANCPOST, sucursala Măgurele, nr. RO20BPOS70903295827ROL01 în lei,
nr. RO84BPOS70903295827EUR01 în EURO și nr. RO31BPOS70903295827USD01 în USD.

Contribuțiile băneşti și donațiile pot fi trimise prin mandat poștal pentru BANCPOST la contul menționat, cu precizarea titularului: Fundația Horia Hulubei.

CURIERUL DE FIZICĂ ISSN 1221-7794

Comitetul director: Redactorul șef al CdF și Secretarul general al Societății Române de Fizică
Membri fondatori: Suzana Holan, Fazakas Antal Bela, Mircea Oncescu
Redacția: Dan Radu Grigore – redactor șef, Mircea Morariu, Corina Anca Simion
Macheta grafică şi tehnoredactarea: Adrian Socolov, Bogdan Popovici
Au mai făcut parte din Redacție: Sanda Enescu, Marius Bârsan
Imprimat la INOE
Apare de la 15 iunie 1990, cu 2 sau 3 numere pe an.
Adresa redacției: Curierul de Fizică, C.P. MG-6, 077125 București-Măgurele.
Tel. 021 404 2300 interior 3416. Fax 021 423 2311, **E-mail:** grigore@theory.nipne.ro
INTERNET: **www.fhh.org.ro**
Distribuirea de către redacția CdF cu ajutorul unei rețele de difuzori voluntari ai FHH, SRF și SRRp.
La solicitare se trimite gratuit bibliotecilor unităților de cercetare și învățământ cu inventarul principal în domeniile științelor exacte.
Datorită donației de 2% din impozitul pe venit, **contribuția bănească pentru un exemplar este 1 leu.**